

Bernd Simbürger

Die energieeffiziente Gestaltung eines neuen Stadtteils in Graz.

Ein Beitrag zur energetischen Neuorientierung in Österreich

DIPLOMARBEIT

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Wirtschaftswissenschaften

Graz, 2011

Bernd Simbürger

Die energieeffiziente Gestaltung eines neuen Stadtteils in Graz.

Ein Beitrag zur energetischen Neuorientierung in Österreich

The energy efficient design of a new real estate development in the City of Graz.

A contribution to Austria`s reorientation in the use of energy.

eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Wirtschaftswissenschaften

Graz, 2011

Erstprüfer: Prof. Dipl.- Volkswirt Otto H. Hammer

Zweitprüfer: Mag. Dr. Gert Heigl

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung

Simbürger, Bernd:

Die energieeffiziente Gestaltung eines neuen Stadtteils in Graz. Ein Beitrag zur energetischen Neuorientierung in Österreich. – 2011.

Graz, Hochschule Mittweida, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit, 2011

Referat

Angesichts der vorherrschenden globalen Energiesituation und der Tatsache das unser Energiesystem und die damit verbundenen Entwicklungen im Bereich der Energieversorgung und dem Energieverbrauch in ökologischer, wirtschaftlicher aber auch sozialer Hinsicht nicht zukunftsfähig sind, bedarf es eines Umdenkens, um den zentralen Energieherausforderungen der Zukunft, verlässliche Versorgung der Menschen mit Energie zu erschwinglichen Preisen, ermöglicht durch ein CO₂ armes, umweltschonendes aber leistungsfähiges Energiesystem, gerecht zu werden. Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden Möglichkeiten zur Nutzung von erneuerbaren Energien evaluiert. Anhand von innovativen Umsetzungskonzepten wird aufgezeigt wie durch den Einsatz von Erneuerbareren Energien ein Beitrag zur Energieeinsparung, zur Steigerung der Energieeffizienz und im Besonderen zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen erreicht werden kann.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	4
1.1 Ausgangssituation.....	4
1.2 Ziel	5
1.3 Methodisches Vorgehen	6
2 ENERGIESYSTEM ÖSTERREICH.....	7
2.1 Primärenergieverbrauch	7
2.2 Energetischer Endverbrauch nach Energieträger	8
2.2.1 Energetischer Endverbrauch nach Sektoren.....	9
2.2.2 Energetischer Endverbrauch nach Verbrauchszwecken.....	11
2.3 Erneuerbare Energien.....	12
2.3.1 Erzeugung Erneuerbarer Energien.....	12
2.3.2 Bruttoinlandsverbrauch Erneuerbarer Energien	13
2.3.3 Energetischer Endverbrauch erneuerbarer Energien.....	14
2.3.4 Energetischer Endverbrauch Erneuerbarer Energien nach Sektoren	15
2.4 Entwicklung der Energiepreise	16
3 THEORETISCHE ENERGIEGENUTZUNG.....	18
3.1 Energie	18
3.2 Energiebedarf, Energieverbrauch	19
3.3 Energieträger	19
3.3.1 Primärenergieträger.....	20
3.3.2 Sekundärenergieträger.....	20
3.3.3 Endenergieträger.....	20
3.3.4 Nutzenergie	21
3.4 Bilanz der Energieströme.....	22
3.5 Erneuerbare Energien.....	24
3.6 Definitionen	26
3.6.1 Dezimalfaktoren.....	26
3.6.2 Maßeinheiten.....	26
3.6.3 Umrechnungsfaktoren	27

4	GRÜNDE FÜR EINE ENERGETISCHE NEUORIENTIERUNG	28
4.1	Klimapolitische Vereinbarungen.....	28
4.1.1	Kyoto Protokoll	28
4.1.1.1	Flexible Mechanismen des Kyoto Protokolls	29
4.1.1.2	Emissionshandel	29
4.1.1.3	Übertragung und Erwerb von Emissionsreduktionseinheiten.....	29
4.1.1.4	Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung	29
4.1.2	Energie und Klimapolitik der Europäischen Union	30
4.1.3	Österreichische Klimapolitik im Kontext der Europäischen Union.....	31
4.2	Klimatische Rahmenbedingungen Graz.....	36
4.2.1	Klima und Topographie	36
4.2.2	Immissionsbelastung.....	36
4.3	Volkswirtschaftliche Gründe.....	37
5	MÖGLICHKEITEN DER NUTZUNG VON SOLARENERGIEN	38
5.1	Definition.....	38
5.2	Solarthermie	41
5.2.1	Definition.....	41
5.2.2	Kollektoren.....	42
5.2.3	Flachkollektoren	42
5.2.4	Vakuumröhrenkollektoren.....	43
5.2.4.1	Direkt durchströmte Röhre	43
5.2.4.2	Indirekt durchströmte Röhre	44
5.3	Solarthermie in Österreich	45
5.4	Solarthermie in Graz	47
5.4.1	Solardachkataster der Stadt Graz	47
5.5	Photovoltaik	48
5.5.1	Definition.....	48
5.5.2	Photovoltaik Module	49
5.5.2.1	Monokristalline Siliziumzellen.....	49
5.5.2.2	Polykristalline Siliziumzellen.....	50
5.6	Photovoltaik in Österreich	50
5.7	Produktion von Strom aus Erneuerbaren und Stromverbrauch	52
5.8	Fördersituation Österreich	53
5.8.1	Fördersituation Steiermark	54

5.9	Realisierung Photovoltaik – Energieturm	54
5.9.1	Photovoltaik Module	56
5.9.2	Wechselrichter	58
5.9.3	Unterschiedliche Ausstellung PV-Module Westseite Energieturm	59
5.9.4	Unterschiedliche Ausstellung PV-Module Südseite Energieturm	70
5.9.5	Wirtschaftlichkeitsberechnungen	84
5.9.5.1	Amortisationsrechnung	85
5.9.6	Ergebnis	87
6	MÖGLICHKEITEN DER NUTZUNG VON WÄRME.....	88
6.1	Fernwärme in Graz	88
6.2	Kraft-Wärme-Kopplung	90
6.2.1	Definition.....	90
6.2.2	Aufteilung der CO ₂ Emission auf die Koppelprodukte Strom und Wärme	92
6.2.3	Primärenergieeinsparung Kraftwerk Mellach.....	93
6.3	Abwärmenutzung in der Industrie	95
6.3.1	Stahl- und Walzwerk Marienhütte.....	98
6.3.1.1	Prozessbeschreibung Wärmeauskopplung	98
6.3.1.2	Theoretischer Ansatz.....	100
6.4	Kühlenergie	104
6.4.1	Fernkälte.....	104
6.4.2	Absorptionskältemaschinen.....	105
6.4.2.1	Funktionsweise Absorptionskältemaschine	105
6.4.3	Adsorptionskältemaschinen.....	109
6.4.3.1	Funktionsweise Adsorptionskältemaschinen.....	110
7	STADTTEIL GRAZ REININGHAUS	112
7.1	Historische Entwicklung	112
8	RESÜMEE	114
	Abkürzungsverzeichnis	I
	Tabellenverzeichnis.....	II
	Abbildungsverzeichnis.....	III
	Literaturverzeichnis	VII
	Selbstständigkeitserklärung	XI

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung lebt bereits heute in Städten, 2050 werden es aktuellen Prognosen zufolge 70 Prozent sein. Die Stadt Graz zählt zurzeit 262.000 Einwohner, Schätzungen zu Folge wird sich die Einwohnerzahl durch verstärkten Zuzug auf ca. 305.000 bis zum Jahr 2050 erhöhen. Die zunehmende Urbanisierung wirft Probleme aber auch Chancen hinsichtlich der zukünftigen Energieversorgung auf. Derzeit wird der Energiebedarf vieler Länder und der Österreichs in erster Linie über fossile Energieträger bereitgestellt. Betrachtet man die Ungleichmäßigkeit zwischen begrenzten Energievorkommen und steigendem Energieverbrauch, sowie das Faktum, dass ein Großteil der nachgefragten und eingesetzten Energieträger erschöpfbar ist, wird man zunehmend mit der Problematik und den Konflikten rund um das Thema Energie konfrontiert. Unser Energiesystem und die damit verbundenen Entwicklungen im Bereich der Energieversorgung und dem Energieverbrauch sind in ökologischer, wirtschaftlicher aber auch sozialer Hinsicht nicht zukunftsfähig. Beobachtet man nahe zu jährlich vorkommende Steigerungen der Energiekosten, kommt man zum Schluß, dass nicht nur auf politischer Ebene dem Thema Energie immense Bedeutung zugemessen werden sollte, sondern auch jeder private Haushalt angewiesen sein muss, sich mit der vorherrschenden Thematik auseinander zusetzen. Es bedarf eines radikalen Umdenkens, um den zentralen Energieherausforderungen der Zukunft, verlässliche Versorgung der Menschen mit Energie zu erschwinglichen Preisen, ermöglicht durch ein CO₂ armes, umweltschonendes aber leistungsfähiges Energiesystem, gerecht zu werden. Neue und innovative Technologien, basierend auf erneuerbaren Energiequellen werden unser Energiesystem dahingehend verändern müssen, um eine ökologisch sinnvolle und sichere Energieversorgung gewährleisten zu können. Um diese wesentlichen Herausforderungen einer zukünftigen Energie- und Klimapolitik erfüllen zu können braucht es neben mittelfristig umsetzbaren Zielen auch langfristige Visionen. Neben bereits beschlossenen, verpflichteten Energie- und Klimapolitischen Maßnahmen im Zuge des Kyoto Protokolls hat sich Österreich im Rahmen des im Jahr 2008 von der Europäischen Union beschlossenen Energie- und Klimapakets dazu verpflichtet, den Anteil Erneuerbarer Energieträger am Bruttoinlandsverbrauch bis 2020 auf 34% zu erhöhen und gleichzeitig die Treibhausgasemissionen in Sektoren, welche nicht dem Emissionshandel unterliegen um mindestens 16%, bezogen auf das Basisjahr 2005, zu reduzieren. Diese ambitionierten Zielsetzungen sollten als Beginn eines langfristigen Prozesses verstanden werden, an dessen Ende der intelligente und verantwortungsbewusste Umgang mit Energie zur Selbstverständlichkeit geworden ist.

1.2 Ziel

Unter „smart energy“ wird im Energiebereich in erster Linie der intelligente Umgang mit Energie verstanden. Im Rahmen der Entwicklung eines neuen Stadtteils in Graz wird anhand eines innovativen Energiekonzeptes versucht, sich dieser Vision anzunähern und aufgezeigt, wie durch den Einsatz von Erneuerbarer Energien ein Beitrag zur Energieeinsparung, zur Steigerung der Energieeffizienz, aber ins besonderes zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen erreicht werden kann. Durch Realisierung von Photovoltaikanlagen und den weiteren Ausbau der Solarstrominfrastruktur soll der Anteil an CO₂ neutralen Strom am Verbrauch deutlich gesteigert werden. Demzufolge wird es möglich sein strombetriebene Fahrzeuge und Fahrräder mit Sonnenstrom zu versorgen und damit optimale Rahmenbedingungen zur Verminderung von CO₂ und Feinstaubmissionen zu schaffen und somit zur Erhöhung der Energieeffizienz im Verkehr beizutragen. Ein weiteres Ziel ist die energieeffiziente und schadstoffarme Erzeugung von Wärme. Die Bereitstellung soll über den umweltfreundlichen und hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) Prozess sowie durch die Nutzung industrieller Abwärme ermöglicht werden. Auf diesen Temperaturniveaus ist auch der Betrieb von wärmebetriebenen Kältemaschinen durch die optimale Einbindung der Wärmeauskoppelungsanlage im Stahl- und Walzwerk Marienhütte möglich, wodurch eine aus ökologischer Sicht notwendige Alternative zu strombetriebenen Kältemaschinen realisiert werden kann. Durch die Nutzung der vorhandenen Infrastruktur in Form des Fernwärmesystems im Bereich der Reininghausgründe und des Stahl- und Walzwerkes Marienhütte in Kombination mit dezentralen thermosolaren Solaranlagen und wärmebetriebenen Kälteanlagen für die Gebäudekühlung, sowie der Einbindung eines modernen Energiemanagements wird für diesen Stadtteil eine innovative, ökologische und zukunftsorientierte Wärme- und Kälteversorgung geschaffen. Die optimale Integration von erneuerbarer Energie und deren verbrauchsnahe Einbettung in das Gesamtsystem, sprich das intelligente Zusammenspiel von Energieerzeugern, -verbrauchern und Energienetzen, stellen eine weitere zentrale Herausforderung dar. Die vorhandenen Versorgungsnetze für Strom und Wärme werden, um diesen Anforderungen gerecht zu werden, mit intelligenten Zähleinrichtungen sogenannten Smart Meter ausgestattet und ermöglichen auf diese Weise den Endverbrauchern durch Visualisierung den Energieverbrauch und die damit verbundenen Energiekosten zu steuern. Des Weiteren sollen CO₂ Emissionen, auf Basis automatisierter Effizienz- und Energieanalysen für Haushalte mit Hilfe von Smart Meter, reduziert werden.

1.3 Methodisches Vorgehen

Um die Ziele zu erreichen bzw. die zentralen Fragestellungen beantworten zu können, wird zu Beginn der Blick auf die gegenwärtige Energiesituation gerichtet. Durch Analyse und Dokumentation der Energieaufbringung und der Verbrauchsmengen einzelner Energieträger am Primär- und Endenergieverbrauch in Österreich wird ein erster Überblick der verschiedenen genutzten Energien gegeben und somit der Einstieg in die Thematik geschaffen. Weiters wird aufgezeigt, wie sich der energetische Endverbrauch der einzelnen Sektoren darstellt. Dadurch ist es möglich, gewisse Entwicklungen zu erkennen, um daraus notwendige Maßnahmen zu evaluieren bzw. Weichenstellungen vorzunehmen, damit zukünftig ein Großteil des Endenergieverbrauchs mittels erneuerbarer Energien gedeckt und CO₂ Emissionen vermieden werden können. Um den prognostizierten weiteren Anstieg der Nachfrage nach Primärenergieträgern bedingt durch Wirtschaftswachstum und weiter Bevölkerungszunahme entgegen wirken zu können, werden in weiterer Folge Begriffsbestimmungen vorgenommen und Möglichkeiten zur theoretischen Nutzung von Energie aufgezeigt. Nur durch Kenntnis der verschiedenen verfügbaren Energiequellen und deren Erscheinungsformen und Wirkungen können Alternativen zur derzeitigen Aufbringungs- und Verbrauchssituation evaluiert werden. Durch die Entscheidung der Eingrenzung auf regenerative Energieträger wird im Weiteren der Blick auf Technologien zur Nutzung dieser erneuerbarer Energien gerichtet. Durch erkennen des Klimawandels als globales Problem gab es auch auf politischer Ebene ein entsprechenden Umdenken. Dementsprechend sind neben dem Kyoto-Protokoll für Österreich vor allem verpflichtende Vereinbarungen und Zielsetzungen innerhalb der Europäischen Union von Bedeutung. Nach Definition dieser und der volkswirtschaftlichen aber auch nationalen Gründe sowie der vorherrschenden Rahmenbedingungen und klimatischen Situation in Graz, werden im Konkreten Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energien im Zuge der Gestaltung des neu zu entwickelnden Stadtteils Graz-Reininghaus untersucht. Die Umgestaltung des bestehenden Siloturms in einen Energieturm durch Nutzung von Photovoltaik-Technologie wird anhand von Simulation unterschiedlicher Ertragsszenarien geprüft und einer Wirtschaftlichkeitsberechnung unterzogen. Des Weiteren werden Möglichkeiten zur energieeffizienten und schadstoffarmen Erzeugung von Wärme über den Kraft-Wärme-Kopplungsprozess sowie der Nutzung industrieller Abwärme zur Wärme und Kälteversorgung aufgezeigt. Zum Abschluss dieser Arbeit werden die vorliegenden Ergebnisse einer kritischen Betrachtung unterzogen und in einem Resümee zusammengefasst.

2 Energiesystem Österreich

2.1 Primärenergieverbrauch

Der Bruttoinlandenergieverbrauch, auch Gesamtenergieverbrauch lag in Österreich im Jahr 2009 bei 1354 PJ. Dieser Gesamtverbrauch resultiert zu 39,1% aus Erdöl, zu 22,4% aus Erdgas, zu 16,9% aus sonstigen erneuerbaren Energieträgern, zu 10,7% aus Wasserkraft, zu 9,0% aus Kohle, zu 1,7% aus nicht erneuerbaren Abfällen und zu 0,2% aus Nettostromimporte. Von besonderer Bedeutung für die österreichische Energieversorgung ist der hohe Beitrag der erneuerbaren Energien mit einem Anteil von 27,6% am Bruttoinlandsenergieverbrauch. Die Struktur des Bruttoinlandsverbrauches hat sich 2009 zugunsten von erneuerbaren Energien und zulasten von Kohle geändert.

Der Bruttoinlandsverbrauch entspricht dabei aber nicht vollständig der in Abschnitt 3.3.1 definierten Primärenergie, sondern beschreibt nur die Summe aus importierten sowie innerhalb Österreichs aufgebrauchten Energieträgern, letztlich also den gesamten Energieeinsatz in Österreich. Dabei wird nicht nach Primär- und Sekundärenergieträgern unterschieden, Umwandlungs- und Verteilungsverluste werden nicht berücksichtigt.

Tabelle 1: Bruttoinlandsverbrauch nach Energieträgern in den Jahren 2008 und 2009 und deren Veränderung in Prozent

Bruttoinlandsverbrauch (auch Gesamtenergieverbrauch)					
	2008		2009		Veränderung
	PJ	%	PJ	%	in %
Kohle	157,6	10,9	121,9	9,0	-22,6
Erdöl	562,7	39,1	529,6	39,1	-5,9
Erdgas	316,0	22,0	303,1	22,4	-4,1
Wasserkraft	136,4	9,5	145,1	10,7	6,3
Sonst. Erneuerbarer Energie	222,4	15,5	228,2	16,9	2,6
Abfälle (nicht erneuerbar)	26,5	1,8	23,3	1,7	-12,2
Nettostromimporte	17,5	1,2	2,8	0,2	-84,0
Gesamt	1439,2	100,0	1354,0	100,0	-5,9

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Energiestatus Österreich 2011

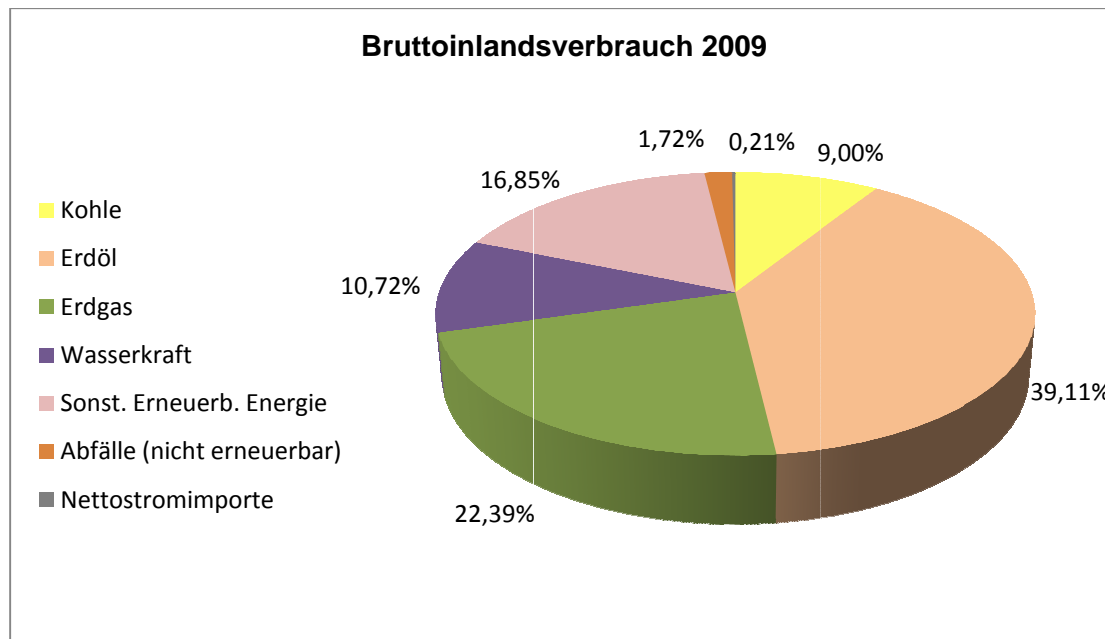


Abbildung 1: Bruttoinlandsverbrauch nach Energieträgern 2009 in Prozent

2.2 Energetischer Endverbrauch nach Energieträger

Umwandlungs- und Verteilungsverluste, sowie der Eigenverbrauch der Sektors Energie, z.B. Raffinerie, sorgen dafür, dass der Verbraucher vom Bruttoinlandsverbrauch nur einen Teil als End- bzw. Nutzenergie umsetzen kann. Dem Bruttoinlandsverbrauch stand in Österreich 2009 ein Endenergieverbrauch von 1057,3 PJ gegenüber.

Tabelle 2: Energetischer Endverbrauch nach Energieträgern in den Jahren 2008 und 2009 und deren Veränderung in Prozent

Energetischer Endverbrauch nach Energieträger					
	2008		2009		Veränderung
	PJ	%	PJ	%	in %
Kohle	23,4	2,1	21,9	2,1	-6,5
Erdöl	448,1	40,6	422,5	40,0	-5,7
Erdgas	188,1	17,1	175,2	16,6	-6,9
Erneuerbare Energien	148,4	13,5	151,8	14,3	2,2
Abfälle (nicht erneuerbar)	17,3	1,6	14,0	1,3	-19,1
Fernwärme	60,3	5,5	63,5	6,0	5,4
Elektrische Energie	216,1	19,6	208,4	19,7	-3,6
Gesamt	1101,7	100,0	1057,3	100,0	-4,0

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Energiestatus Österreich 2011

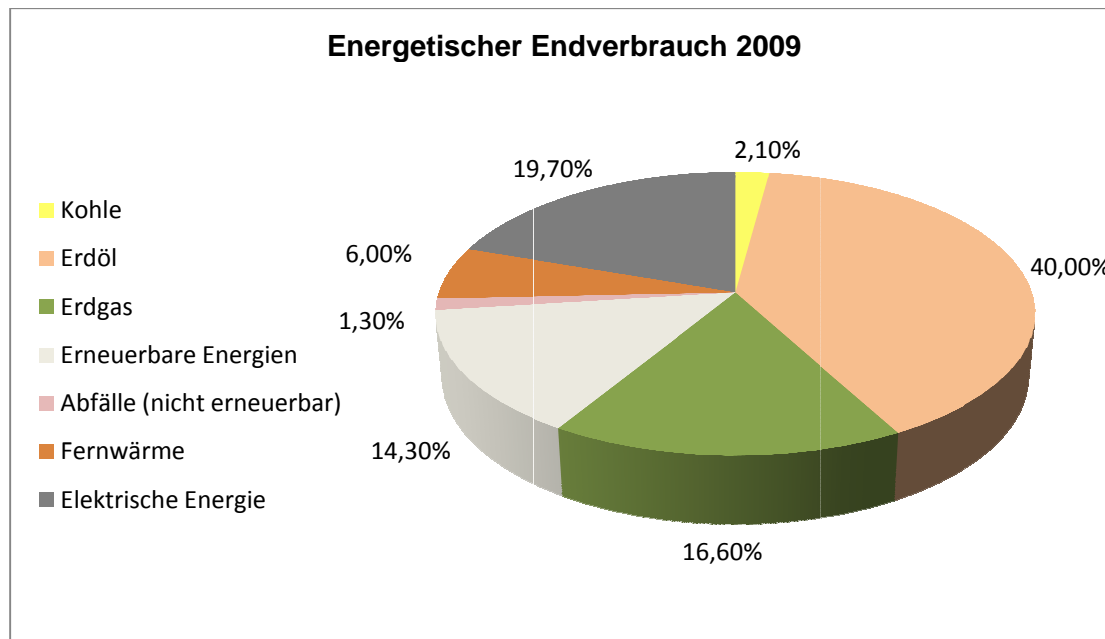


Abbildung 2: Energetischer Endverbrauch nach Energieträgern 2009 in Prozent

Zur Deckung des im Jahr 2009 um 4 % gesunkenen energetischen Endverbrauches wurden vor allem mehr erneuerbare Energien und Fernwärme eingesetzt. Bei allen anderen Energieträgern waren teils starke Verbrauchsrückgänge festzustellen.

2.2.1 Energetischer Endverbrauch nach Sektoren

In Abb. 3 ist der Gesamtenergieverbrauch 2009 gegliedert nach Sektoren dargestellt. Dabei wird zwischen den Sektoren Landwirtschaft, Private Haushalte, Dienstleistungen dem Verkehr und dem produzierenden Bereich unterschieden. Vor allem witterungsbedingt war im Jahr 2009 eine leichte Verbrauchszunahme von 0,3% bei den privaten Haushalten festzustellen. Hingegen machte sich die Wirtschaftskrise im produzierenden Bereich mit einem Minus von 3,3% ebenso wie im Verkehrssektor 3,4%, verursacht durch starke Rückgänge im Güterverkehr, bemerkbar. Ebenfalls gesunken ist der Verbrauch im Bereich der Land- und Forstwirtschaft mit 1,9 %. Den stärksten Rückgang verzeichnete allerdings der Dienstleistungssektor mit einer Abnahme um ca. 17 %.

Tabelle 3: Energetischer Endverbrauch nach Sektoren in den Jahren 2008 und 2009 und deren Veränderung in Prozent

Energetischer Endverbrauch nach Sektoren					
	2008		2009		Veränderung
	PJ	%	PJ	%	in %
Landwirtschaft	22,7	2,1	22,2	2,1	-1,9
Private Haushalte	260,0	23,6	260,9	24,7	0,3
Dienstleistungen	131,0	11,9	109,1	10,3	-17,0
Verkehr	369,8	33,6	357,3	33,8	-3,4
Produzierender Bereich	318,2	28,9	307,7	29,1	-3,3
Gesamt	1101,7	100,0	1057,2	100,0	-5,9

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Energiestatus Österreich 2011

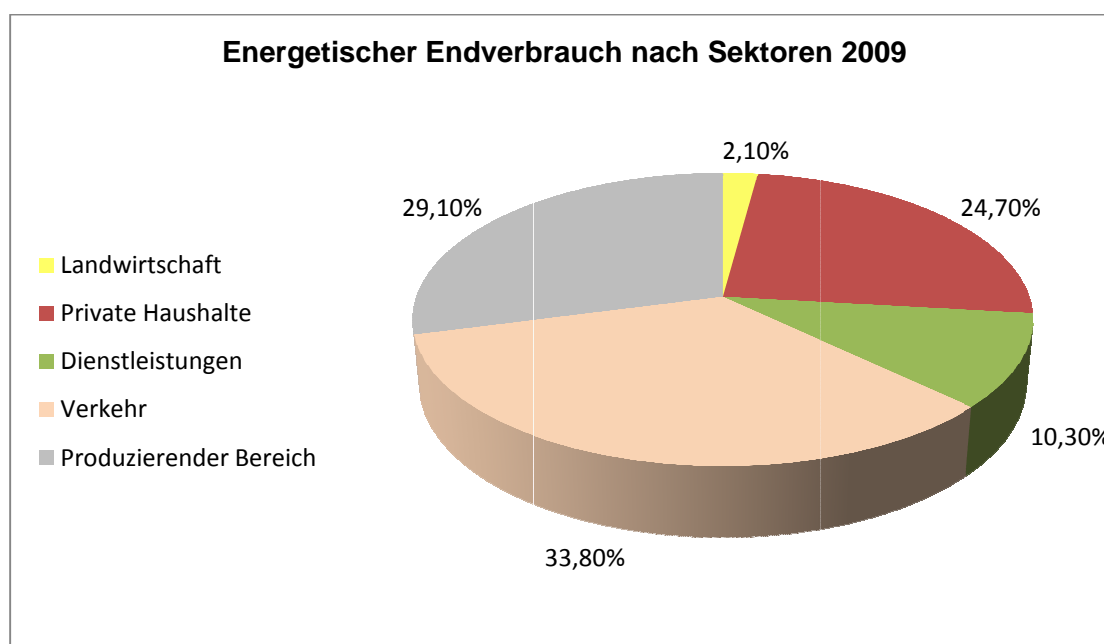


Abbildung 3: Energetischer Endverbrauch nach Sektoren 2009 in Prozent

2.2.2 Energetischer Endverbrauch nach Verbrauchszwecken

In der folgenden Abb. 4 wird der Energetische energetischen Endverbrauch im Jahr 2009 nach Verbrauchszwecken und Energieträgern gegliedert dargestellt.

Den höchsten Anteil am Verbrauch weist mit 34,7 % die Mobilität auf. Zweiter wichtiger Verbraucherzweck ist die Raumheizung und Warmwasserbereitung, inkl. Kochen und Klimatisierung mit 28,0 %. Gefolgt von dem Bereich Prozesswärme inkl. Industrieöfen, Dampferzeugung und der Elektrochemie mit 23,6 %. 11,0 % entfallen auf mechanische Arbeit sowie 2,7 % auf Beleuchtung und EDV. Auffallend ist das im Bereich Raumheizung und Warmwasserbereitung die erneuerbaren Energien inkl. Abfälle mit 25,9 % bereits den höchsten Anteil aufweisen. Dahinter folgen Ölprodukte mit einem Anteil von 22,9 % und Gas mit 21,8 %. Die Fernwärme nimmt mit einem Anteil von 19 % bereits einen beachtlichen Stellenwert ein.

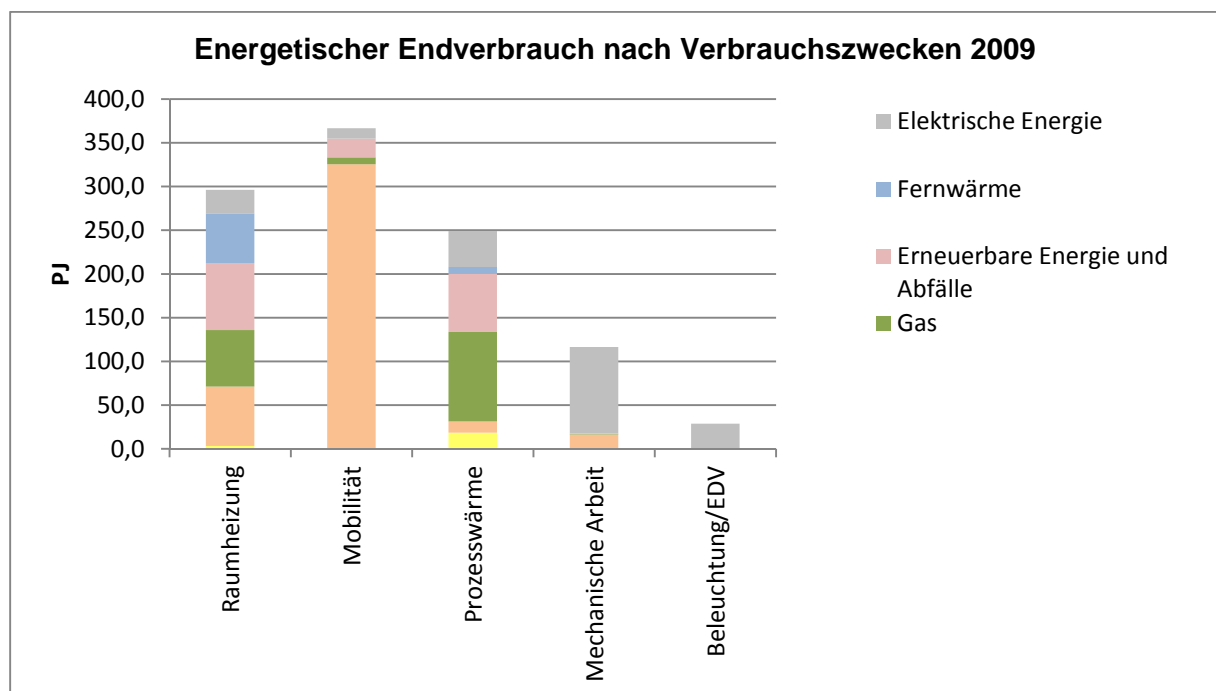


Abbildung 4: Energetischer Endverbrauch nach Verbrauchszwecken 2009 in PJ

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Energiestatus Österreich 2011

2.3 Erneuerbare Energien

2.3.1 Erzeugung Erneuerbarer Energien

Aufgrund seiner günstigen topographischen Situation verfügt Österreich über Ressourcen, welche in hohem Ausmaß zur Energiegewinnung genutzt werden können. Wasserkraft und Biomasse tragen in Summe derzeit mehr als drei Viertel zur gesamten inländischen Energieproduktion bei. Die Nutzung der Wasserkraft als saubere und emissionsfreie Form der Stromerzeugung spiegelt sich dementsprechend mit 145,1 PJ Erzeugung im Jahr 2009 wieder. Obwohl die Entwicklung in einzelnen Teilbereichen leicht rückläufig war, konnten die erneuerbaren Energien ihren Stellenwert ausbauen, da die „sonstigen“ erneuerbaren Energien in verstärktem Maße genutzt wurden. Rückläufe verzeichnet man bei Brennholz, dessen Erzeugung 2009 leicht auf 56,7 PJ zurückging und bei „biogenen Brenn- und Treibstoffen“, unter dessen Sammelbegriff u.a. Hackschnitzel, Pellets, Biogas, Biodiesel etc. fallen, auf 127,1 PJ gegenüber dem Jahr 2008. Brennbare Abfälle inkl. Müll und Industrieabfälle betrugen 2009 30,5 PJ. Wie in den Jahren zuvor hat es auch 2009 wieder Zunahmen im Bereich der Umweltenergien mit den Technologien Wärmepumpe, Solarwärme, Geothermie gegeben. Die Umweltenergien verzeichneten einen Anstieg um 8,2 % auf 10,9 PJ, während die Windenergie bei einem Anteil von 7 PJ an der Erzeugung von erneuerbaren Energien in Österreich stagniert.

Tabelle 4: Inländische Energieerzeugung in den Jahren 2008 und 2009 und deren Veränderung in Prozent

Inländische Erzeugung Erneuerbarer Energien					
	2008		2009		Veränderung
	PJ	%	PJ	%	in %
Brennbare Abfälle inkl. Industrie	32,0	8,5	30,5	8,1	-4,7
Brennholz	58,3	15,5	56,7	15,0	-2,7
Biogene Brenn- u. Treibstoffe	132,8	35,2	127,1	33,7	-4,3
Umweltenergien	10,0	2,6	10,9	2,9	8,2
Wind / Photovoltaik	7,3	1,9	7,2	1,9	-1,3
Wasserkraft	136,4	36,2	145,1	38,4	6,4
Gesamt	376,8	100,0	377,5	100,0	0,2

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Energiestatus Österreich 2011

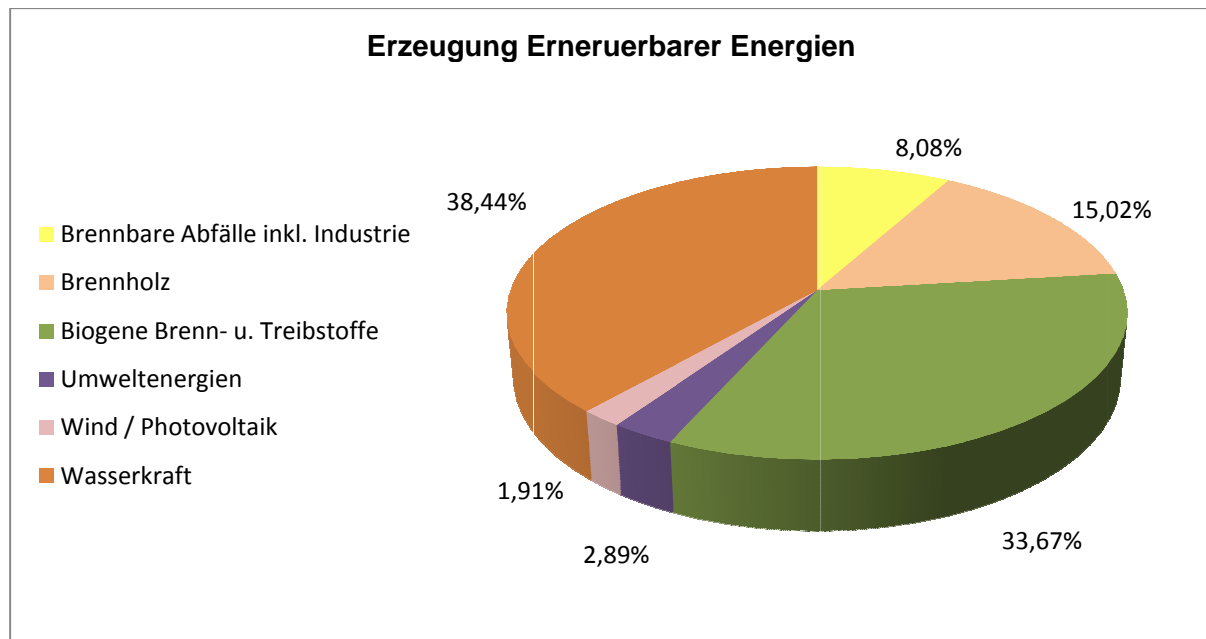


Abbildung 5: Inländische Erzeugung Erneuerbare Energien 2009

2.3.2 Bruttoinlandsverbrauch Erneuerbarer Energien

Bei erneuerbaren Energieträgern sind nur sehr geringe Außenhandelsströme und Lagerbewegungen zu beobachten. Deswegen bestehen zwischen dem Bruttoinlandsverbrauch und der inländischen Erzeugung kaum Unterschiede.

Dem Bruttoinlandsverbrauch wurden im Jahr 2009 durch sonstige erneuerbare Energien insgesamt 251,5 PJ zugeführt. Subtrahiert man die in den brennbaren Abfällen enthaltenen 23,3 PJ nicht biogenen Abfälle, so beläuft sich dieser Wert auf 228,2 PJ. Insgesamt deckten die erneuerbaren Energien, Wasserkraft und sonstige erneuerbare Energien ohne nicht biogene Abfälle, somit im Jahr 2009 27,6 % des Bruttoinlandsverbrauches. Dies bedeutet eine Zunahme um 2,6 Prozentpunkte gegenüber dem Vergleichsjahr 2008. Ein beträchtlicher Anteil der erneuerbaren Energieträger wird in andere Energieformen, insbesondere Strom und Wärme, umgewandelt. Neben der Wasserkraft werden vor allem die Abfälle zur Raumwärmeerzeugung genutzt. Die direkte Verwertung der sonstigen erneuerbaren Energien bei den Endverbrauchern ist aber von großer Bedeutung, da diese Energien, ohne nicht erneuerbare Abfälle, derzeit gut 14 % des energetischen Endverbrauches decken.

2.3.3 Energetischer Endverbrauch erneuerbarer Energien

Der energetische Endverbrauch der Erneuerbaren Energieträger belief sich im Jahr 2009 auf 165,8 PJ. Ohne Zurechnung der brennbaren Abfälle inkl. Industrie, welche 2009 für einen Anteil von 14,0 PJ zeichneter, reduziert sich dieser Wert auf 151,8 PJ.

Abgesehen von den Brennbaren Abfällen verzeichneten im Jahr 2009 alle Energieträger im Segment der Sonstigen Erneuerbaren Energien steigende Verbrauchsmengen.

Tabelle 5: Energetischer Endverbrauch Erneuerbarer Energien in den Jahren 2008 und 2009 und deren Änderung in Prozent

Energetischer Endverbrauch Erneuerbarer Energien					
	2008		2009		Veränderung
	PJ	%	PJ	%	in %
Brennbare Abfälle inkl. Industrie	17,3	10,5	14,0	8,5	-19,1
Brennholz	61,1	36,9	62,8	37,9	2,8
Biogene Brenn- u. Treibstoffe	78,1	47,1	78,8	47,5	0,9
Umweltenergien	9,3	5,6	10,2	6,1	9,6
Gesamt	165,8	100,0	165,8	100,0	0,0

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Energiestatus Österreich 2011

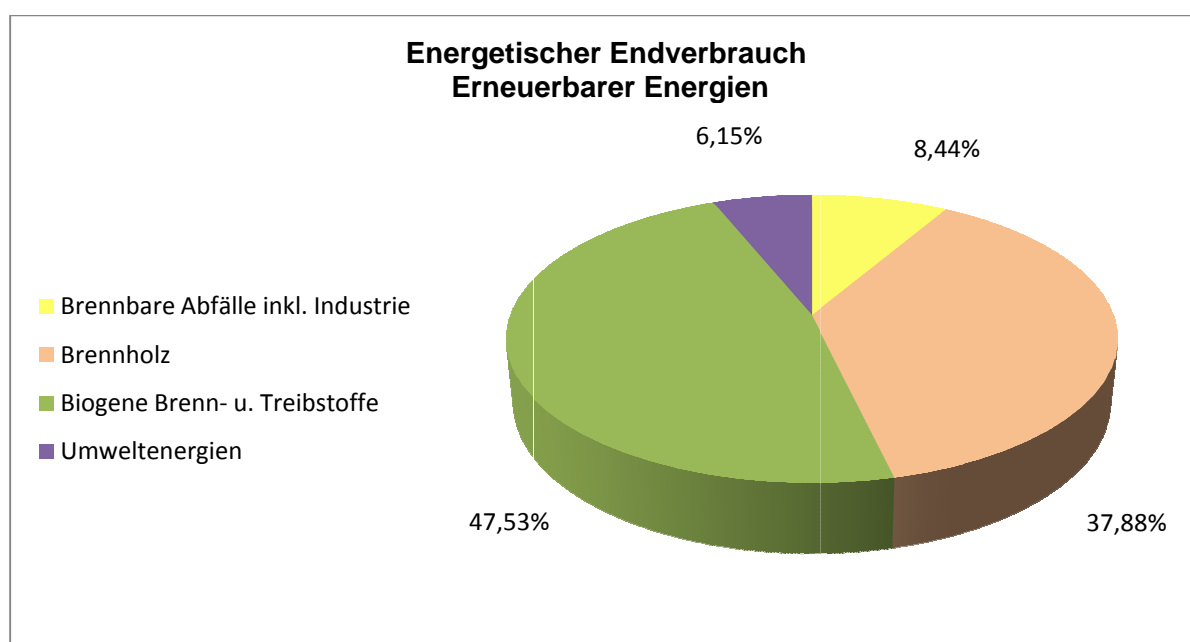


Abbildung 6: Anteil Erneuerbarer Energien am Energetischen Endverbrauch 2009

2.3.4 Energetischer Endverbrauch Erneuerbarer Energien nach Sektoren

In der folgenden Abb. 7 ist die sektorale Aufgliederung des energetischen Endverbrauchs der sonstigen erneuerbaren Energien im Jahr 2009 dargestellt. In den privaten Haushalten wurden ca. 43 % dieser Energien verbraucht, auf den produzierenden Bereich entfällt über ein Drittel. Im Verkehrssektor ist der Anteil von über 10 % vor allem auf die Beimischungspflicht von biogenen Treibstoffen zurückzuführen.

Im Segment des energetischen Endverbrauches sind aus den Energiebilanzen nur jene erneuerbaren Energien ersichtlich und dargestellt, welche direkt in ihrer Primärform beim Endverbraucher genutzt werden, nicht jedoch die aus erneuerbaren Energien erzeugten Sekundärenergieträger Strom und Fernwärme.

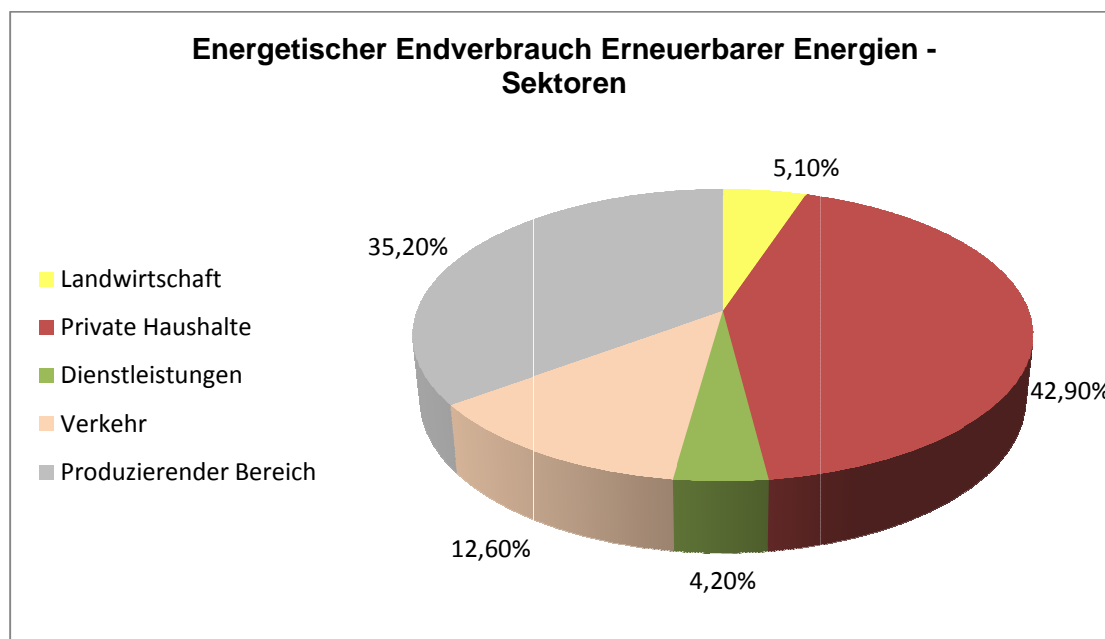


Abbildung 7: Energetischer Endverbrauch Erneuerbarer Energien nach Sektoren 2009

2.4 Entwicklung der Energiepreise

In den letzten Jahren musste man eklatante Preissteigerungen auf dem Sektor Energie beobachten, für welche insbesondere die „Energieleitwährung“ Öl verantwortlich war. Anfang des Jahres 2004 kostete Rohöl (UK Brent) etwa 30 \$ pro Barrel, Mitte 2008 bereits 133 \$ pro Barrel, was einer Preissteigerung um mehr als das Vierfache gleich kommt. Nach einem Preissturz Ende des Jahres 2008 auf den Ausgangswert, stabilisierten sich die Preise Ende des Jahres 2010 wieder auf über 90 \$ pro Barrel.

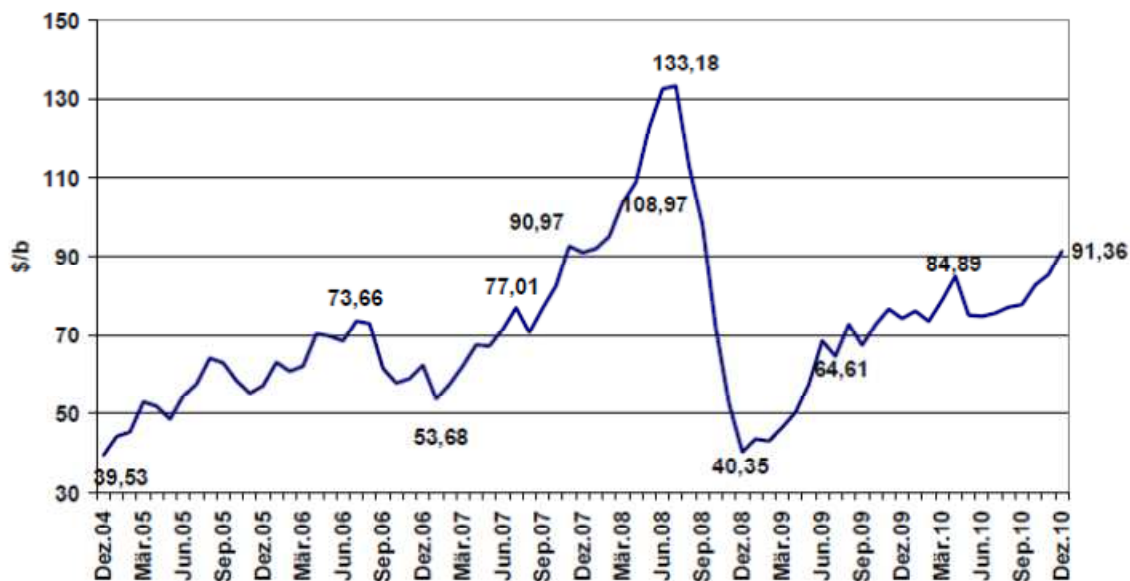


Abbildung 8: Preisentwicklung Erdöl pro Barrel in Dollar in den Jahren 2004 – 2010

Quelle: Österreichische Energieagentur, Entwicklung Energiepreise

Die Energiepreissituation in Österreich ist stark abhängig von der Preisentwicklung auf den internationalen Märkten. Die damit verbundene Entwicklung lässt sich am besten durch den Energiepreisindex (EPI), welcher von der Österreichischen Energieagentur berechnet wird, beschreiben. Im Vergleich zum Jahresdurchschnitt 2009 erhöhte sich der EPI 2010 um 7,6 %. Der EPI ist Bestandteil des Verbraucherpreisindex (VPI) und wird monatlich publiziert. Die Gewichtung entspricht dem Anteil am Warenkorb für den VPI der Statistik Austria.

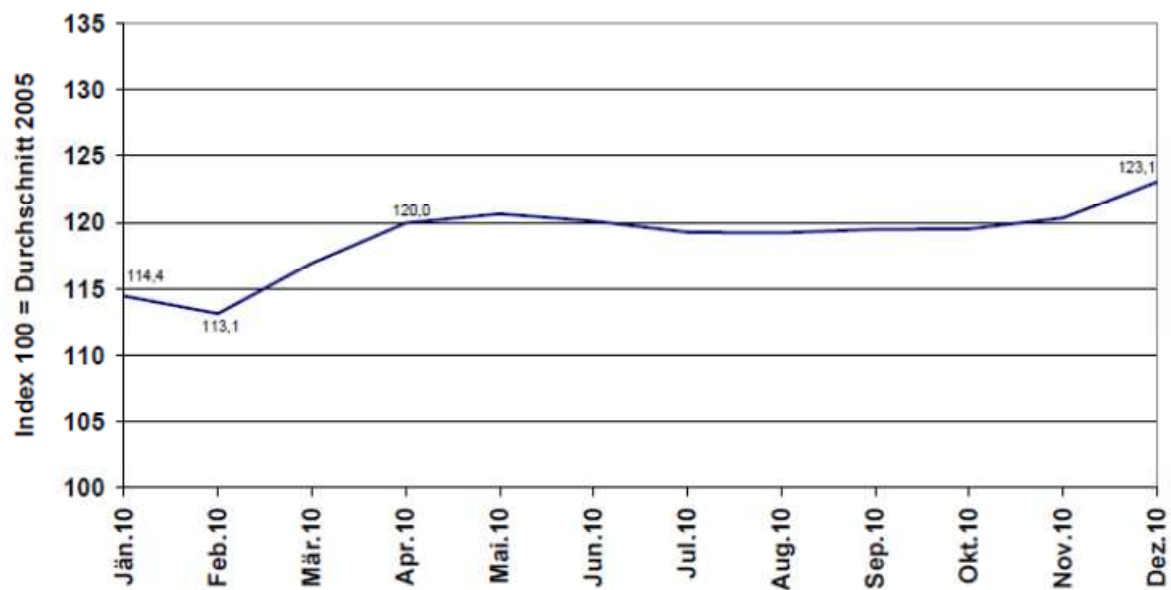


Abbildung 9: Entwicklung Energiepreisindex im Jahr 2010

Quelle: Österreichische Energieagentur

Die Ausgaben im Jahr 2010 der österreichischen Haushalte für Energie sind zum Vergleichsjahr 2009 um 16 % auf 9,7 Mrd. € gestiegen. Die durchschnittlichen Monatsausgaben pro Haushalt betrugen 224,- € und verteilten sich zu etwa 42 % auf den Verkehrsbereich (Benzin, Diesel), zu rund 33 % auf Raumheizung und Warmwasserbereitung und zu rund 25 % auf Strom.

3 Theoretische Energienutzung

3.1 Energie

Unter Energie wird nach Max Planck die Fähigkeit eines Systems verstanden, äußere Wirkungen hervorzubringen.¹

Dabei kann man folgende Energieformen unterscheiden:

- mechanische Energie (potentielle und kinetische)
- thermische Energie
- elektrische Energie
- chemische Energie
- Kern- und Strahlungsenergie

In der praktischen Energieanwendung äußert sich diese Fähigkeit, äußere Wirkungen hervorzubringen und damit Arbeit zu verrichten, in Form von Kraft, Wärme und Licht. Die Arbeitsfähigkeit der chemischen sowie der Kern- und Strahlungsenergie sind erst durch Umwandlung dieser Energieformen in mechanische und/oder thermische Energie gegeben.²

¹ vgl. Kaltschmitt, Martin : Hartmann, Hans: Hofbauer, Hermann: Energie aus Biomasse – 2.Auflage – Berlin Heidelberg : Springer, 2009 : Seite 7

² vgl. Kaltschmitt, Martin : Hartmann, Hans: Hofbauer, Hermann: Energie aus Biomasse – 2.Auflage – Berlin Heidelberg : Springer, 2009 : Seite 8

3.2 Energiebedarf, Energieverbrauch

Aus wirtschaftlicher Sicht betrachtet, bezeichnet der Energieverbrauch den Bedarf an Energien der aufgebracht werden muss um ein Wirtschaftsgut nutzen zu können. Aus physikalischer Sicht sagt der Energieerhaltungssatz, dass in einem energetisch geschlossenen System die Gesamtenergie konstant ist.

Die Gesamtenergie eines Systems kann durch Prozesse, die ausschließlich innerhalb des betrachteten Systems stattfinden nicht verändert, also weder erzeugt noch verbraucht werden. Energieformen – mechanische, chemische und die Wärme – wandeln sich ineinander um.³

3.3 Energieträger

Unter einem Energieträger – und damit einem „Träger“ der unter Punkt 3.1 definierten Energie – wird ein Stoff verstanden, aus dem direkt oder durch eine oder mehrere Umwandlungen Nutzenergie gewonnen werden kann.⁴

Energieträger können nach dem Grad der Umwandlung in Primär- und Sekundärenergieträger sowie Endenergieträger unterteilt werden. Der jeweilige Energieinhalt dieser Energieträger ist die Primärenergie, die Sekundärenergie und die Endenergie, aus welcher letztlich die Nutzenergie gewonnen wird.⁵

³ vgl. Falanga, Gianluca : Die Humboldt Universität – 1.Auflage – Berlin: Berlin Story Verlag, 2005 : Seite 143

⁴ vgl. Kaltschmitt, Martin : Streicher, Wolfgang: Wiese, Andreas: Erneuerbare Energien – 4.Auflage – Berlin Heidelberg : Springer, 2006 : Seite 2

⁵ vgl. Kaltschmitt, Martin : Streicher, Wolfgang: Wiese, Andreas: Erneuerbare Energien – 4.Auflage – Berlin Heidelberg : Springer, 2006 : Seite 2

3.3.1 Primärenergieträger

Unter Primärenergieträgern werden Stoffe und unter der Primärenergie der Energiegehalt der Primärenergieträger und der „primären“ Energieströme verstanden, die noch keiner technischen Umwandlung unterworfen wurden.

Aus Primärenergie (z.B. Windkraft, Solarstrahlung) oder -trägern (z.B. Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Biomasse) können direkt oder durch eine oder mehrere Umwandlungen Sekundärenergie oder -träger gewonnen werden.⁶

3.3.2 Sekundärenergieträger

Sekundärenergieträger sind Energieträger und Sekundärenergie ist der Energieinhalt der Sekundärenergieträger oder der von Energieströmen, die direkt oder durch eine oder mehrere Umwandlungen in technischen Anlagen aus Primär- oder aus anderen Sekundärenergieträgern bzw. -energien hergestellt werden (z.B. Benzin, Heizöl, Rapsöl, elektrische Energie). Dabei fallen u.a. Umwandlungs- und Verteilungsverluste an. Sekundärenergieträger bzw. Sekundärenergien stehen Verbrauchern zur Umwandlung in andere Sekundär- oder Endenergieträger bzw. -energien zur Verfügung.⁷

3.3.3 Endenergieträger

Unter Endenergieträger werden Energieträger und unter Endenergie der Energieinhalt der Endenergieträger bzw. der entsprechenden Energieströme verstanden, die der Endverbraucher bezieht (z.B. Heizöl im Öltank des Endverbrauchers, Holzhackschnitzel vor der Feuerungsanlage, Fernwärme an der Hausübergabestation).

⁶ vgl. Kaltschmitt, Martin : Streicher, Wolfgang: Wiese, Andreas: Erneuerbare Energien – 4.Auflage – Berlin Heidelberg : Springer, 2006 : Seite 2

⁷ vgl. Kaltschmitt, Martin : Streicher, Wolfgang: Wiese, Andreas: Erneuerbare Energien – 4.Auflage – Berlin Heidelberg : Springer, 2006 : Seite 2

Sie resultieren aus Sekundär- oder ggf. Primärenergieträgern bzw. –energien, vermindert um die Umwandlungs- und Verteilungsverluste, den Eigenverbrauch und den nicht energetischen Verbrauch. Sie sind für die Umwandlung in Nutzenergie verfügbar.⁸

3.3.4 Nutzenergie

Mit Nutzenergie wird letztlich die Energie bezeichnet, die nach der letzten Umwandlung in den Geräten des Verbrauchers für die Befriedigung der jeweiligen Bedürfnisse (z.B. Raumtemperierung, Nahrungszubereitung, Information, Beförderung) zur Verfügung steht. Sie wird gewonnen aus Endenergieträgern bzw. der Endenergie, vermindert um die Verluste dieser letzten Umwandlung (z.B. Verluste in Folge der Wärmeabgabe einer Glühlampe für die Erzeugung von Licht, Verluste in einer Hackschnitzelfeuerung bei der Bereitstellung von Wärme)⁹

⁸ vgl. Kaltschmitt, Martin : Streicher, Wolfgang: Wiese, Andreas: Erneuerbare Energien – 4.Auflage – Berlin Heidelberg : Springer, 2006 : Seite 2

⁹ vgl. Kaltschmitt, Martin : Streicher, Wolfgang: Wiese, Andreas: Erneuerbare Energien – 4.Auflage – Berlin Heidelberg : Springer, 2006 : Seite 3

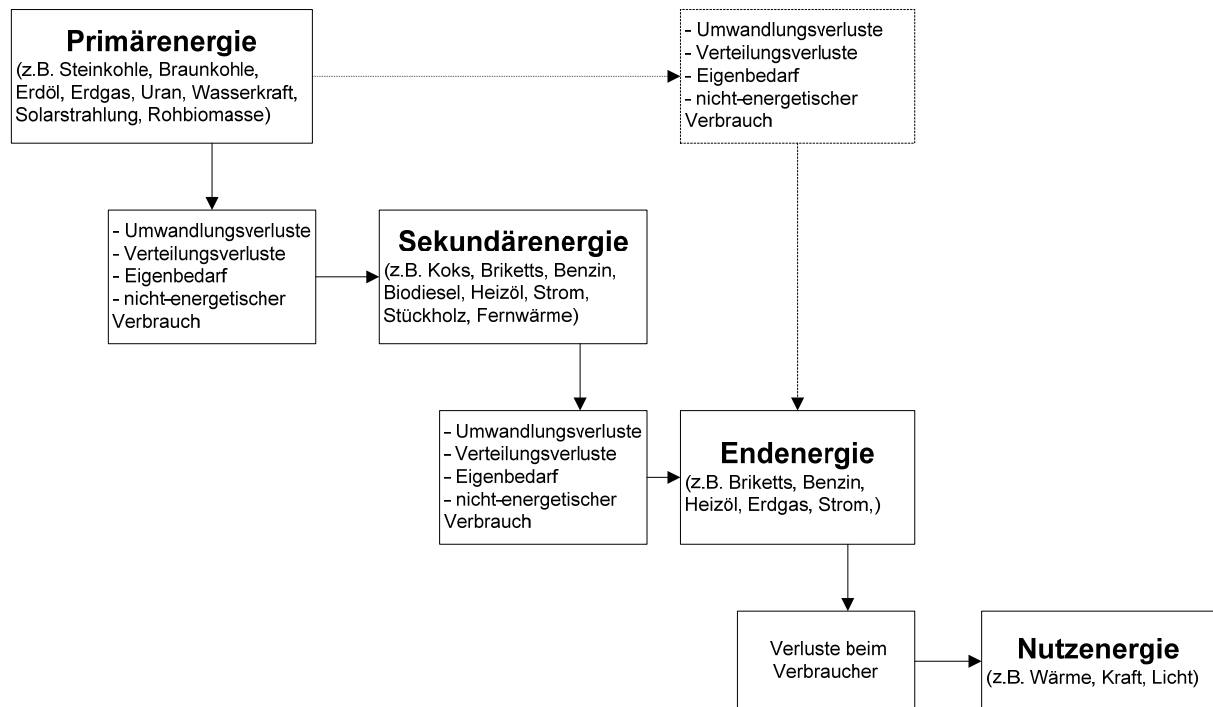


Abbildung 10: Energiewandlungskette von der Primärenergie zur Nutzenergie

Quelle: Neubarth, Kaltschmitt: Erneuerbare Energien in Österreich

3.4 Bilanz der Energieströme

Die Energie, die aus den drei primären Energiequellen Sonne, Erdwärme sowie Planetengravitation und –bewegung stammt, kommt auf der Erde in verschiedenen Erscheinungsformen vor (z.B. Wärme, fossile Energieträger, Biomasse) bzw. ruft unterschiedliche Wirkungen hervor (z.B. Verdunstung, Wellen, Niederschlag).¹⁰

¹⁰ vgl. Neubarth, Jürgen : Kaltschmitt, Martin: Erneuerbare Energien in Österreich – Wien : Springer, 2000 : Seite 8

Abb. 11 zeigt eine Systematik, die diese Erscheinungsformen bzw. Wirkungen den entsprechenden Energiequellen zuordnet:

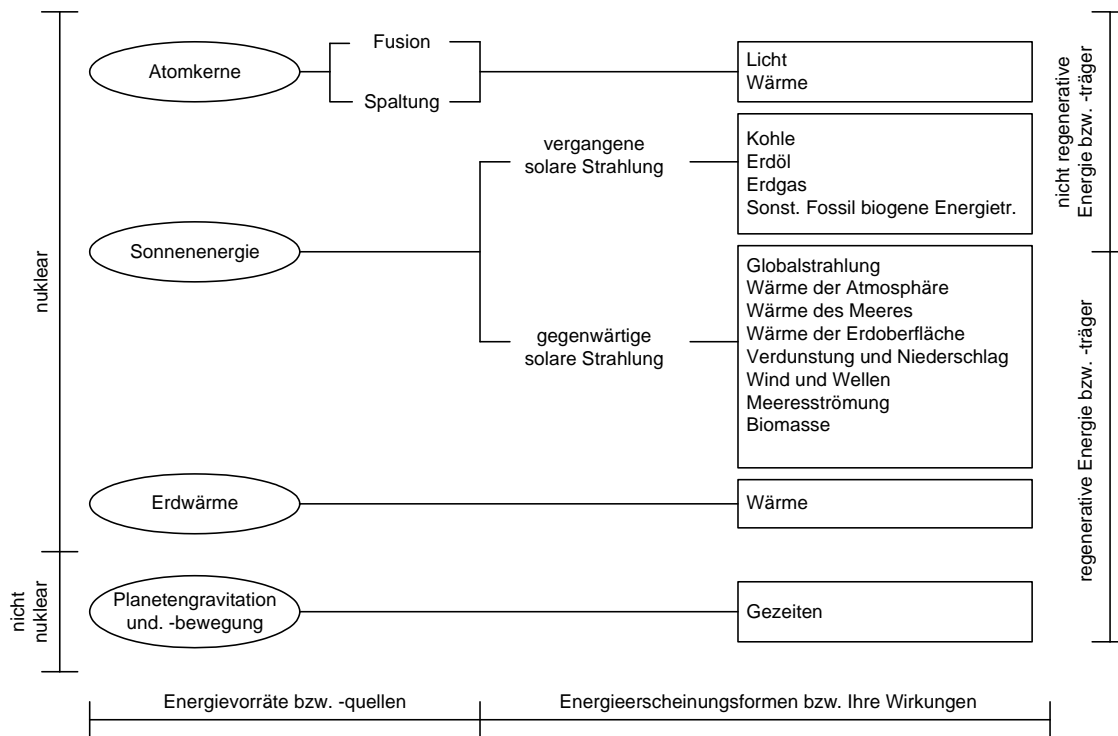


Abbildung 11: Energiequellen in ihren Erscheinungsformen und Wirkungen

Quelle: Neubarth, Kaltschmitt: Erneuerbare Energien in Österreich

3.5 Erneuerbare Energien

Unter regenerativen oder erneuerbaren Energien werden jene Primärenergien verstanden, die in menschlichen Dimensionen als unerschöpflich angesehen werden. Hierbei handelt es sich um die eingestrahlte Energie der Sonne (Solarstrahlung), die für eine Vielzahl weiterer erneuerbarer Energien wie Windenergie, Wasserkraft und Biomasse verantwortlich ist. Weiterhin rechnet man dazu die Gezeitenenergie und die geothermische Energie (Erdwärme).¹¹

Die im Abfall bzw. Müll enthaltene Energie ist nur dann als erneuerbar zu bezeichnen, wenn sie nicht fossil biogen oder fossil mineralischen Ursprungs ist (Biomasse in Form von Abfällen aus Land- und Forstwirtschaft oder den Haushalten).¹²

Regenerativ sind damit im eigentlichen Sinn nur die natürlich vorkommenden erneuerbaren Primärenergien, nicht aber die daraus resultierenden Sekundär- oder Endenergien bzw. –träger. Vielfach werden aber auch die aus erneuerbaren Energien gewonnenen Sekundär- und Endenergieträger als regenerativ bezeichnet.¹³

Dieses regenerative Energieangebot ist durch eine große Bandbreite hinsichtlich der Energiedichte, der zeitlichen und geographischen Variationen des Energieangebots, der daraus gewinnbaren Sekundär- oder Endenergieträger und anderer Größen gekennzeichnet.¹⁴

Entsprechend muss jede Option zur Nutzbarmachung dieser Energien an die jeweilige Charakteristik dieses natürlichen Energieangebots angepasst sein.

¹¹ vgl. Neubarth, Jürgen : Kaltschmitt, Martin: Erneuerbare Energien in Österreich – Wien : Springer, 2000 : Seite 4

¹² vgl. Neubarth, Jürgen : Kaltschmitt, Martin: Erneuerbare Energien in Österreich – Wien : Springer, 2000 : Seite 4

¹³ vgl. Neubarth, Jürgen : Kaltschmitt, Martin: Erneuerbare Energien in Österreich – Wien : Springer, 2000 : Seite 4

¹⁴ vgl. Neubarth, Jürgen : Kaltschmitt, Martin: Erneuerbare Energien in Österreich – Wien : Springer, 2000 : Seite 10

Unter Berücksichtigung der in Österreich vorhandenen Rahmenbedingungen stellen sich Stromerzeugung aus Wasserkraft, solare Wärmebereitstellung mit aktiven Systemen photovoltaische Umwandlung des Sonnenlichtes in elektrische Energie, die Nutzung der Windenergie mit Windkraftanlagen, die Nutzung von Umgebungswärme sowie die Nutzung hydrothormaler Erdwärme sowie und der photosynthetisch fixierten Energie als Biomasse als technisch sinnvolle Optionen einer Nutzung regenerativer Energien dar ¹⁵

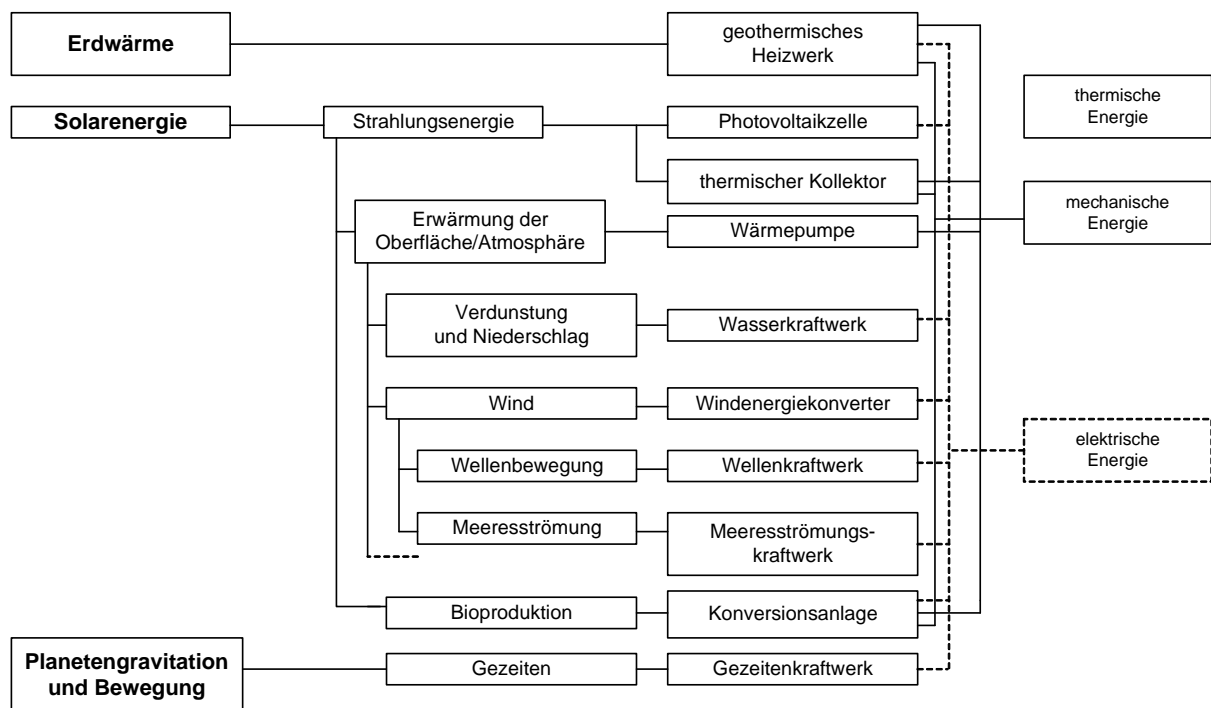


Abbildung 12: Grundsätzliche Möglichkeiten zur Nutzung des regenerativen Energieangebots nach Kleeman und Meli 1993

Quelle: Neubarth, Kaltschmitt: Erneuerbare Energien in Österreich

¹⁵ vgl. Neubarth, Jürgen : Kaltschmitt, Martin: Erneuerbare Energien in Österreich – Wien : Springer, 2000 : Seite 11

3.6 Definitionen

3.6.1 Dezimalfaktoren

Tabelle 6: Dezimalfaktoren

Dezimalfaktoren			
Bezeichnung	Zeichen	Faktor	
Kilo	k	10^3	1.000
Mega	M	10^6	1.000.000
Giga	G	10^9	1.000.000.000
Tera	T	10^{12}	1.000.000.000.000
Peta	P	10^{15}	1.000.000.000.000.000

3.6.2 Maßeinheiten

Tabelle 7: Maßeinheiten

Maßeinheiten			
Größe	Maßeinheit	Zeichen	Umrechnung
Leistung	Watt	[W]	
Energie	Joule	[J]	
	Wattsekunde	[WS]	1 WS = 1 J
	Kilowattstunde	[kWh]	1 kWh = 3 600 000 J = 3,6 MJ
	Kalorie	[cal]	1 cal = 4,186 J

3.6.3 Umrechnungsfaktoren

Tabelle 8: Umrechnungsfaktoren

Umrechnungsfaktoren					
Zu: Von:	J	TJ	kWh	GWh	cal
J	1	1×10^{-12}	$0,2778 \times 10^{-6}$	$0,2778 \times 10^{-12}$	0,2388
TJ	1×10^{12}	1	$0,2778 \times 10^6$	0,2778	$0,2388 \times 10^{-12}$
kWh	$3,6 \times 10^6$	$3,6 \times 10^{-6}$	1	1×10^{-6}	$0,8598 \times 10^6$
GWh	$3,6 \times 10^{12}$	3,6	1×10^6	1	$0,8598 \times 10^{12}$
cal	4,186	$4,186 \times 10^{-12}$	$1,163 \times 10^{-6}$	$1,163 \times 10^{-12}$	1

4 Gründe für eine energetische Neuorientierung

4.1 Klimapolitische Vereinbarungen

Auch auf politischer Ebene hat der Klimawandel zu Diskussionen und einem entsprechenden Umdenken geführt. Ergebnis ist der Versuch einer neuen Energiepolitik mit Fokus auf erneuerbare Energien. Da es sich beim Klimawandel um ein globales Problem handelt bedarf es globaler Lösungsansätze und Kooperationen der Staaten untereinander. Dementsprechend sind neben dem Kyoto-Protokoll für Österreich vor allem Vereinbarungen, Zielsetzungen und die Gesetzgebung der Europäischen Union vorrangig von Bedeutung.

4.1.1 Kyoto Protokoll

Im Jahr 1997 haben sich die 38 Industriestaaten der Klimakonvention in Kyoto, Japan als Ziel die Reduktion der wichtigsten Treibhausgase, in der Verpflichtungsperiode 2008-2012, im weltweiten Durchschnitt um 5 % gegenüber dem Jahr 1990 gesetzt. Das am 16. Februar 2005 in Kraft getretene Abkommen legt erstmals völkerrechtlich verbindliche Zielwerte fest. Möglich wurde dies durch die Ratifizierung des Protokolls durch Russland, womit über 55% der weltweiten Kohlendioxid-Emittenten der Industriestaaten die nationale Umsetzung beschlossen haben.¹⁶

Im Kyoto Protokoll sind konkret sechs Treibhausgase reglementiert, deren Ausstoß entsprechend ihres Treibhausgaspotenzials gewichtet und als CO₂ - Äquivalent ausgedrückt wird. Laut Definition des Weltklimarat hat Kohlendioxid CO₂ ein Treibhausgaspotenzial von 1, Methan CH₄ eines von 21 und Stickstoffoxid N₂O eines von 310. Die F-Gase, vollfluorierte Kohlenwasserstoffe FKW, teilfluorierte Kohlenwasserstoffe HFKWs sowie Schwefelhexafluorid SF₆ haben ein Treibhausgaspotenzial von 140 bis zu 23.900, bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren.

¹⁶ vgl. <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/treibhausgase/>, verfügbar am 12.07.2011

4.1.1.1 Flexible Mechanismen des Kyoto Protokolls

4.1.1.2 Emissionshandel

Der Emissionshandel ist einer der flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls zur Erreichung von Emissionsreduktionen. In der EU können nicht nur die Mitgliedstaaten als Vertragsparteien des Kyoto-Protokolls am internationalen Emissionshandel teilnehmen, sondern auch Unternehmen können im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems Zertifikate handeln. Der EU-Emissionshandel (EH) betrifft derzeit größere Emittenten der Sektoren Industrie und Energieaufbringung und startete im Jahr 2005 mit einer dreijährigen Pilotphase bis 2007, gefolgt von einer zweiten Phase 2008 bis 2012, welche sich zeitlich mit der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls deckt.¹⁷

4.1.1.3 Übertragung und Erwerb von Emissionsreduktionseinheiten

Zu den flexiblen Mechanismen zählt neben dem internationalen Emissionshandel auch der Erwerb von Kyoto-Einheiten aus Joint Implementation Projekten (JI- Projekten). Wenn Staaten allein durch nationale Maßnahmen die erforderliche Reduktion nicht erreichen, können sie diese Mechanismen zur Zielerreichung nutzen.¹⁸

4.1.1.4 Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung

Der sog. Clean Development Mechanism (CDM) – Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung ist ein weiterer Bestandteil der flexiblen Mechanismen, welcher zur Durchsetzung der Kyoto-Verpflichtungen verwendet werden kann. Industrieländer, der Staat oder Privatunternehmen investieren in Klimaschutzprojekte in Entwicklungsländern und tragen dadurch zur Reduktion von Treibhausgasemissionen bei.¹⁹

¹⁷ vgl. Umweltbundesamt: Klimaschutzbericht 2011, Seite 46

¹⁸ vgl. Umweltbundesamt: Klimaschutzbericht 2011, Seite 38

¹⁹ vgl. <http://www.jikobmu.de>; verfügbar am 11.07.2011

4.1.2 Energie und Klimapolitik der Europäischen Union

Für die Europäische Union ist im Kyoto Protokoll eine Verminderung der Treibhausgas-Emissionen um 8 % vorgesehen.

Da in den Mitgliedstaaten zum Teil sehr unterschiedliche Voraussetzungen für die Reduktion von Emissionen bestehen, wurde das Reduktionsziel der EU durch die Schlussfolgerungen des Rates vom Juni 1998 auf die Mitgliedstaaten aufgeteilt. Die individuellen Ziele der Mitgliedstaaten sind durch die Genehmigung des Kyoto Protokolls durch die Gemeinschaft per Entscheidung des Rates sowohl EU- als auch völkerrechtlich verbindlich.²⁰

Im Rahmen der Verhandlungen über die Lastenverteilung innerhalb der Europäischen Union hat sich Österreich 1998 verpflichtet, 13% der Treibhausgas-Emissionen in der Verpflichtungsperiode 2008-2012, gegenüber dem Basisjahr 1990 zu vermindern.

Die Europäische Union hat in den letzten zwei Jahrzehnten neben dem Weißbuch, dem Grünbuch und der Lissabon Strategie eine Reihe von Mitteilungen, Verordnungen und Richtlinien zu nachhaltiger Entwicklung im Allgemeinen und zur Entwicklung erneuerbarer Energie im Besonderen beschlossen. Als wesentlichstes Ergebnis dieser Bemühungen ist das „Energie- und Klimapaket“ der Europäischen Union anzusehen, welches im Dezember 2008 vom Europäischen Parlament angenommen wurde.²¹

Mit der Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen werden drei wesentliche verbindliche Ziele festgelegt:

- 20 % Erneuerbare Energie des Energiebedarfs bis 2020
- 20 % Einsparung des Energieverbrauchs bis 2020
- 20 % Reduktion der Treibhausgasemissionen

²⁰ vgl. Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend: Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung der Kyoto Ziele 2008 – 2012; Seite 12

²¹ vgl. Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend: Erneuerbare Energie 2020: Potenzial und Verwendung in Österreich, 2009: Seite 47

4.1.3 Österreichische Klimapolitik im Kontext der Europäischen Union

Durch Beschluss des Energie- und Klimapaketes auf europäischer Ebene entstanden auch für Österreich verbindliche Verpflichtungen zur Emissionsreduktion sowie für den Bereich erneuerbarer Energien. Österreich verpflichtete sich den Anteil der erneuerbaren Energieträger am Bruttoendenergieverbrauch bis 2020 auf 34 % und den Anteil erneuerbarer Energieträger am Endenergieverbrauch im Verkehrssektor auf 10 % zu erhöhen. Für Treibhausgasemissionen in den Sektoren welche nicht dem Europäischen Emissionshandel unterliegen wurde eine Reduktion um 16 %, bezogen auf das Basisjahr 2005, vereinbart.²²

Im Rahmen der Verhandlungen über die Lastenverteilung innerhalb der Europäischen Union hat sich Österreich 1998 verpflichtet, 13% der Treibhausgas-Emissionen in der Kyoto Verpflichtungsperiode 2008-2012, gegenüber dem Basisjahr 1990 zu vermindern. Österreich wurde für diese Periode eine Menge an zulässigen Emissionen von rund 344 Mio. t CO₂-Äquivalent zugeteilt. Die Emissionen des Basisjahres betrugen wie in Tab. 9 ersichtlich 79,05 Mio. t CO₂-Äquivalent.

Die Berechnung der zulässigen Menge erfolgt durch Multiplikation mit dem Faktor 5 (fünf Jahre Verpflichtungsperiode) und anschließender Reduktion um 13%. Je Einheit darf 1 t CO₂-Äquivalent emittiert werden, rechnerisch dürfen damit pro Jahr der Kyoto-Periode 68,8 Mio. t CO₂-Äquivalent freigesetzt werden. Solange die Emissionen in den anderen Jahren der Verpflichtungsperiode kompensiert werden, können in den einzelnen Jahren die Werte auch überschritten werden.

In der Tabelle 9 sind die anthropogenen Emissionen der Treibhausgase CO₂, CH₄, N₂O und der F-Gase entsprechend ihrem unterschiedlichen Treibhausgaspotenzial in Österreich vom Basisjahr 1990 bis 2009 dargestellt.

²² vgl. Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend: Energie Strategie Österreich 2010, Maßnahmenvorschläge; Seite 7

Tabelle 9: Entwicklung der anthropogenen Emissionen der Treibhausgase CO₂, CH₄, N₂O sowie der F-Gase in Mio. t CO₂-Äquivalente in Österreich von 1990 – 2009 und deren prozentueller Anteil an den Gesamtemissionen 2009

Luftemissionen	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	F-Gase gesamt	CO ₂ in Mio. t
Treibhausgaspotenzial	1	21	310	140 - 23.900	
1990	61,9	9,2	6,3	1,6	79,1
1991	65,7	8,3	6,5	1,8	82,3
1992	60,2	8,0	6,1	1,2	75,5
1993	60,5	7,9	6,0	1,1	75,5
1994	60,9	7,7	6,4	1,3	76,3
1995	64,0	7,6	6,6	1,6	79,8
1996	67,4	7,4	6,3	1,8	82,9
1997	67,2	7,1	6,3	1,9	82,5
1998	66,8	6,9	6,4	1,7	81,8
1999	65,3	6,8	6,4	1,7	80,2
2000	66,0	6,6	6,3	1,6	80,5
2001	70,0	6,5	6,2	1,7	84,4
2002	71,9	6,4	6,2	1,7	86,2
2003	77,8	6,4	6,1	1,6	91,9
2004	77,7	6,2	5,4	1,6	90,9
2005	79,7	6,1	5,4	1,6	92,8
2006	77,1	6,0	5,5	1,6	90,2
2007	74,4	5,9	5,5	1,6	87,4
2008	73,9	5,7	5,7	1,6	86,9
2009	67,6	5,7	5,4	1,4	80,1
Anteile 2009	84,4%	7,1%	6,7%	1,8%	100,0%

Quelle: Umweltbundesamt Österreich, Klimaschutzbericht 2011

Österreich konnte im Jahr 2009 den rückläufigen Emissionstrend der Vorjahre fortsetzen und verzeichnete im zweiten Jahr der Verpflichtungsperiode mit 80,1 Mio. t CO₂-Äquivalenten, um 6,8 Mio. t CO₂-Äquivalente bzw. 7,8 % weniger Treibhausgas-Emissionen insgesamt als im Jahr zuvor. Die Emissionen im Jahr 2009 lagen jedoch um 11,3 Mio. Tonnen über dem jährlichen Durchschnittswert des für 2008 bis 2012 festgelegten Kyoto-Ziels von minus 13 % gegenüber dem Basisjahr 1990.

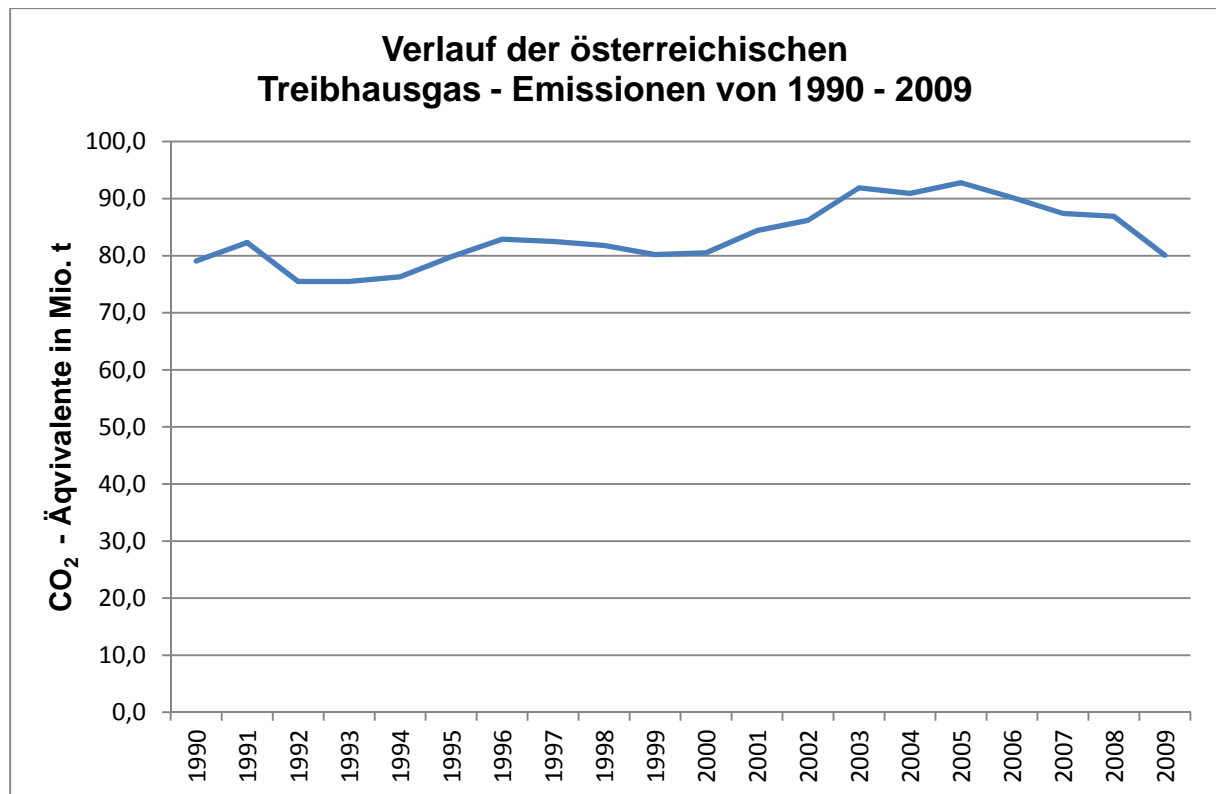


Abbildung 13: Verlauf der anthropogenen Emissionen der Treibhausgase CO₂, CH₄, N₂O sowie der F-Gase in Österreich von 1990 – 2009 in Mio. t CO₂-Äquivalente

Relevant für die Bemessung der Erreichung des Kyoto-Ziels sind aber nicht nur die gesamten Treibhausgas-Emissionen in den Jahren 2008 bis 2012 sondern auch die Zukäufe im Rahmen von JI- Joint Implementation (Übertragung und Erwerb von Emissionsreduktionseinheiten) und CDM- Clean Development Mechanism Projekten (Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung), welche entsprechend der Klimastrategie im Ausmaß von 45 Mio. t CO₂-Äquivalent (9 Mio. t jährlich) geplant sind. Die Bilanz aus Neubewaldung und Entwaldung in der Verpflichtungsperiode wird derzeit als Senke für 0,7 Mio. t CO₂-Äquivalent pro Jahr geschätzt. Ein weiteres Kriterium bildet die Zuteilung von Emissionszertifikaten an die am Emissionshandel teilnehmenden Betriebe und deren tatsächliche Emissionen in der Kyoto-Periode. Der Beitrag der Emissionen dieser Betriebe zur Kyoto-Zielerreichung ist durch die Zuteilung im nationalen Allokationsplan (NAP) festgelegt. Emittieren die EH-Betriebe mehr als vorgesehen, sind sie verpflichtet, Emissionszertifikate in demselben Ausmaß am Markt zuzukaufen. Unterschreiten die tatsächlichen Emissionen die Zuteilung, können die Unternehmen die übrig bleibenden Zertifikate entweder weiterverkaufen oder für die folgende Periode nach 2012 verwenden.²³

²³ vgl. Umweltbundesamt: Klimaschutzbericht 2011, Seite 19

Unter Berücksichtigung der sog. flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls zur Erreichung von Emissionsreduktionen, dem Emissionshandels, der Projekte aus JI/CDM sowie der Bilanz aus Neubewaldung und Entwaldung beträgt die Zielabweichung rund 5,0 Mio. t CO₂-Äquivalent. 80,1 Mio. t CO₂-Äquivalenten im Jahr 2009 stehen zugeteilte 68,8 Mio. t CO₂-Äquivalent zu welchen man 9 Mio. t CO₂-Äquivalent aus JI/CDM und 0,7 Mio. t CO₂-Äquivalent aus Neu- und Entwaldung hinzuaddiert gegenüber. Somit ergibt sich eine Differenz von 1,59 Mio. t CO₂-Äquivalent.

Zu der auf diese Weise ermittelten Lücke zwischen tatsächlichen Emissionen und zur Verfügung stehenden Kyoto-Einheiten muss die Differenz zwischen NAP-Zuteilung 3,45 Mio. t hinzuaddiert werden. Grund dafür ist, dass die an die EH-Betrieb zugeteilten und unverbrauchten Zertifikate nicht mehr für die nationale Erfüllung der Treibhausgas Reduktionsziele zur Verfügung stehen, sondern von den EH-Betrieben verkauft, oder in dieser bis 2012 oder der nächsten Periode 2013–2020 verwendet werden können.²⁴

Hinzu kommt die Lücke aus dem Jahr 2008 von 6,9 Mio. t CO₂-Äquivalent. Zusammen ergibt sich dadurch eine Gesamtzielabweichung aus den Jahren 2008 und 2009 von 11,9 Mio. t CO₂-Äquivalent.

Tabelle 10: Struktur der anthropogenen Emissionen der Treibhausgase CO₂, CH₄, N₂O in 1990 und 2009 sowie deren Veränderung in Prozent

Luftemissionen	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	F-Gase gesamt
1990	78,25%	11,69%	7,94%	2,12%
2009	84,40%	7,10%	6,70%	1,80%
Veränderung in %	6,15%	-4,59%	-1,24%	-0,32%

Quelle: Umweltbundesamt Österreich, Klimaschutzbericht 2011

Die Struktur der Treibhausgase hat sich gegenüber dem Basisjahr 1990 merkbar verändert, der überwiegende Anteil der Treibhausgasemissionen in Österreich entfällt aber immer noch auf CO₂, mit Abstand gefolgt von CH₄ und N₂O.

²⁴ vgl. Umweltbundesamt: Klimaschutzbericht 2011, Seite 20

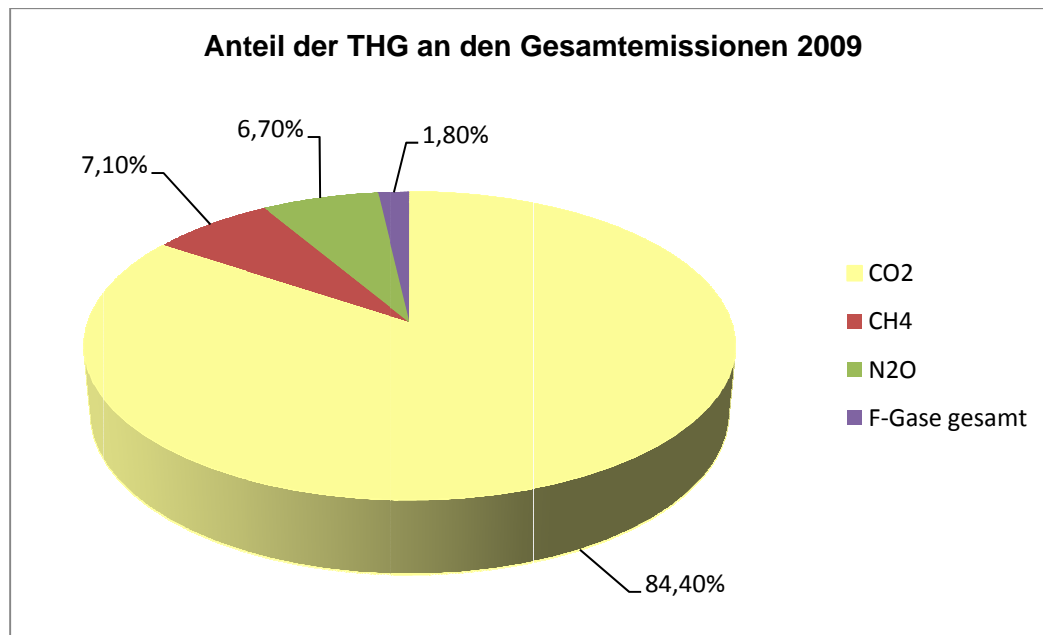


Abbildung 14: Anteil der Treibhausgasemissionen an den Gesamtemissionen in Österreich 2009

Kohlendioxid CO₂ nahm 2009 mit 84,4% den größten Anteil an den gesamten Treibhausgas-Emissionen ein. Es entsteht bei Verbrennung der fossilen Brennstoffe Erdgas, Erdöl und Kohle und damit hauptsächlich in den Sektoren Verkehr, Energieaufbringung sowie Industrie und dem produzierendes Gewerbe. Mit einem Anteil von 7,1 % folgte Methan CH₄ welches in erster Linie bei mikrobiologischen Gärungsprozessen entsteht. Lachgas N₂O, welches hauptsächlich beim biologischen Abbau stickstoffhaltiger Verbindungen, in Abgaskatalysatoren beim Abbau von Stickoxiden und in der Chemischen Industrie entsteht, zeichnet sich für einen Anteil von 6,8 % an den gesamten Treibhausgas-Emissionen 2009 verantwortlich. Der Anteil der F-Gase, dessen wichtigsten Emissionsquellen Kühltechnik- und Klimaanlage sowie die Industrie sind, belief sich in Summe auf 1,8 %.

4.2 Klimatische Rahmenbedingungen Graz

4.2.1 Klima und Topographie

Das Klima in Graz ist einerseits bestimmt durch die Talausgangslage am Randgebirgsfuß zum südöstlichen Alpenvorland, andererseits der im Norden des Grazer Feldes asymmetrischen Beckenlage mit dem höheren Plabutsch-Buchkogel-Zug im Westen und den niedrigen Riedelrücken im Osten mit ihren Seitentälern. Die abschirmende Wirkung der Alpen im Nordwesten hat eine merkliche Abschwächung atlantischer Störungseinflüsse aus dieser Richtung speziell im Winterhalbjahr zur Folge und führt zu wesentlichen immissionsklimatischen Nachteilen. Aus lufthygienischer Sicht ergeben sich durch Windarmut und einer hohen Inversionsgefährdung im Winterhalbjahr negative Aspekte. Der Jahresgang der Windgeschwindigkeiten weist ein breites Spätherbst- und Winterminimum auf, wobei allgemein Monatsmittel von 1 m/s unterschritten werden. Der direkte Vergleich mit Besiedelungsregionen wie Wien, mit flachen Gebiet und Ausbreitungsbedingungen, ergibt, dass aufgrund der höheren Windgeschwindigkeiten und stabilen Ausbreitungsklassen niedrigere Belastungen hervorgerufen werden. Bei Betrachtung der Immissionszusatzbelastung wird der naturräumliche Nachteil vom Großraum Graz noch deutlicher. Jede in Graz freigesetzte Emission verursacht mehr als dreimal so viel an Immissionsbelastung als im Vergleichsgebiet Wien.

4.2.2 Immissionsbelastung

Die gegebenen lokalen geographischen und klimatischen Rahmenbedingungen erfordern ein flexibles Zusammenspiel mit lufthygienischen Gesichtspunkten. Bedingt durch Witterungsverhältnisse und Immissionsbelastungen vor allem in der kälteren Jahreszeit ist eine weitgehend emissionsarme Energieaufbringung notwendig. Hausbrand ist neben dem Bereichen Verkehr und Industrie einer der Hauptverursacher von Emissionen wie Feinstaub PM₁₀, NO_x (Stickoxide), SO₂ (Schwefeldioxid) und C_xH_y (Kohlenwasserstoffe).

Die als Feinstaub (PM₁₀) bezeichnete Staubfraktion enthält 50% der Teilchen mit einem Durchmesser von 10 µm, einen höheren Anteil kleinerer Teilchen und einen niedrigeren Anteil größerer Teilchen. Partikel dieser Größe können bis tief in die Lunge gelangen. Sie sind daher besonders gesundheitsschädlich, maximal so groß wie Zellen und können daher mit freiem Auge nicht gesehen werden.²⁵

²⁵ vgl. <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/luft/luftschadstoffe/staub/pm10/> , verfügbar am 25.05.2011

Die Immissionssituation im Großraum Graz ist durch massive Grenzwertüberschreitungen bei Feinstaub (PM₁₀) und Stickstoffdioxid (NO₂) gekennzeichnet. Im Jahr 2010 stehen bei Feinstaub den nach geltenden EU-Recht zulässigen 35 bzw. nach Immissionsschutzgesetz Luft (IG-L) des Bundes 25 Überschreitungstagen (Tagesmittelwert über 50 µg/m³ PM₁₀), etwa 70 gegenüber.

4.3 Volkswirtschaftliche Gründe

Die bei der Verbrennung fossiler Energieträger verursachten Treibhausgasemissionen bewirken eine Veränderung des Klimas mit unvorhersehbaren Folgen und Schäden und damit in weiterer Folge auch volkswirtschaftliche Kosten. Bei Verfehlung der klimaschutzpolitischen Zielsetzungen müssten beachtliche Straf- bzw. Ausgleichszahlungen geleistet werden, welche in weiterer Folge durch Umwälzung der Kosten auf Städte und Gemeinden eine zusätzliche finanzielle Belastung auch für die Stadt Graz bedeuten würde. Dementsprechend ist es von immenser Bedeutung, entsprechende Erfolge durch nachweisbare Emissionsreduktionen zu erzielen. Die bereits behandelte und in Abb. 9 dargestellte Energiepreisentwicklung (Energiepreisindex) zeigt auf, dass Haushalte und Betriebe mit jährlichen Preissteigerungen für Strom, Gas und Erdöl konfrontiert sind. Dies stellt aber nicht nur eine Belastung für die Grazer Bevölkerung dar, sondern schwächt auch die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft. Steigende Energiepreise verschärfen darüber hinaus weiter die angespannte Budgetsituation der Stadt Graz, in welchem bereits jetzt laufenden Energiekosten für Strom, Wärme und Treibstoffe von mehreren Millionen Euro jährlich veranschlagt werden müssen.

Der öffentliche Verkehr, Winterdienste, Schwimmbäder und weitere energieintensive kommunale Dienstleistungen würden durch höhere Energiekosten massiv teurer werden, was weitere negative Auswirkungen auf das Budget und eine höhere Kostenbelastung für die Grazer Bevölkerung hervorrufen würde. Steigende Heiz- und Stromkosten verursachen im Rahmen einer gelebten Sozialpolitik zudem höhere Transferzahlungen in Form von Heizkostenzuschüssen. Die dauerhafte Kostenbelastung kann negative Auswirkungen auf die zukünftige Entwicklung und Lebensqualität in der Stadt haben, sowie in weiterer Folge sogar zu Standortnachteilen gegenüber anderen Städten und Regionen, welche bereits früher dementsprechende innovative Schritte gesetzt haben, führen.

Um diesen Entwicklungen entgegen zu wirken ist es unumgänglich entsprechende Weichenstellungen für eine effiziente, nachhaltige Energiebewirtschaftung vorzunehmen. Erster positiver Ansatz hierfür ist z.B. das von der Energie Graz gemeinsam mit der Stadt Graz umgesetzte Projekt Green Light. Dabei können zukünftig, durch Modernisierung der Straßenbeleuchtung, Energiekosten von ca. € 220.000 pro Jahr, bei einer gleichzeitig erreichten Qualitätsverbesserung, eingespart werden.

5 Möglichkeiten der Nutzung von Solarenergien

5.1 Definition

Als Sonnenenergie oder Solarenergie bezeichnet man die von der Sonne durch Kernfusion erzeugte Energie, welche in Teilen als elektromagnetische Strahlung zur Erde gelangt.²⁶

Die Sonne ist die größte und ergiebigste Energiequelle, die der Menschheit aus heutiger Sicht zur Verfügung steht. Selbst aus der enormen Entfernung von 150 Mio. km, in der die Erde um sie herum kreist, befördert sie täglich riesige Energiemengen in Form von Strahlungsenergie auf die Erde. Von der Sonne kommt Tag für Tag die 15.000 fache Menge des täglichen Primärenergiebedarfs der gesamten Erdbevölkerung.²⁷

Grundsätzlich wird zwischen der Strahlungsleistung der Sonne bzw. der Einstrahlungsleistung (Solarkonstante) auf die Erde unterschieden:

Die Strahlungsleistung der Sonne entsteht durch einen Kernfusionsprozess, in welchem vier Wasserstoffkerne zu einem Heliumkern verschmelzen. Der durch die Fusion verursachte Massenverlust von insgesamt 4,3 Mio. t pro Sekunde wird in eine freiwerdende Leistung von $3,845 \times 10^{26}$ W umgesetzt.²⁸

Strahlungsleistung der Sonne: $3,845 \times 10^{26}$ W

Als Einstrahlungsleistung oder Solarkonstante bezeichnet man die Strahlungsleistung der Sonne die auf der Erde pro Quadratmeter ankommt. Der Wert der Solarkonstanten ist mit 1367 W/m^2 festgelegt.²⁹

Solarkonstante: 1.367 W/m^2

²⁶ vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenenergie>, verfügbar am 28.04.2011

²⁷ vgl. Geitmann, Sven: Erneuerbare Energien – Berlin: Hydrogeit Verlag, 2010: Seite 62

²⁸ vgl. Eicker, Ursula: Solare Technologien für Gebäude – Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden: B.G.Teubner, 2001 : Seite 26

²⁹ vgl. Molitor, Patrick: Der Photovoltaik-Anlagen Projektfaden – Hamburg: Diplomica Verlag GmbH, 2009: Seite 25

Die Bezeichnung „Konstante“ ist eigentlich nicht richtig, da die Bestrahlungsstärke vom Abstand der Erde zur Sonne abhängt. Der Abstand der Erde von der Sonne schwankt durch die Bahn Exzentrizität, so dass er zwischen $1,47 \cdot 10^8$ km und $1,52 \cdot 10^8$ km beträgt und somit die Bestrahlungsstärke zwischen 1.325 W/m^2 und 1.420 W/m^2 schwankt.³⁰

Unabhängig von der Jahreszahl strahlt die Sonne immer gleich stark, wodurch die übertragene Wärmemenge konstant bleibt. Dennoch wärmen die Sonnenstrahlen aber nicht immer gleich gut, weil sie mit unterschiedlichem Einstrahlwinkel auf die Erde treffen. Grundsätzlich gilt, je höher die Energiemenge pro Flächeneinheit, desto wärmer wird die Fläche. Wie in Abbildung 15 zu sehen ist, gelangen viele Sonnenstrahlen auf eine kleine Flächeneinheit wenn die Sonne im Zenit, also genau senkrecht über uns, steht. Somit erfolgt eine starke Aufheizung dieser kleinen Fläche. Steht die Sonne hingegen kurz über dem Horizont verteilt sich die gleiche Anzahl an Strahlen, die gleiche Sonnenenergie aber auf eine größere Fläche, wodurch sich diese nicht so stark erwärmt, weil pro Flächeneinheit weniger Strahlen ankommen.

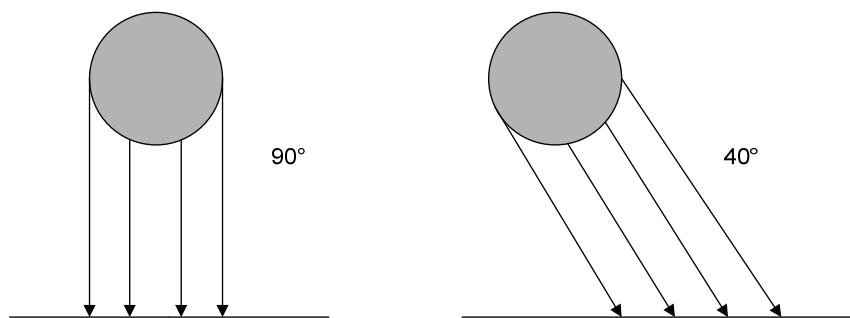


Abbildung 15: Strahlungsenergie pro Flächeneinheit

Quelle: Geitmann, Erneuerbare Energien 2010

³⁰ vgl. <http://www.onlineenzyklopaedie.de/s/so/solarkonstante.html>, verfügbar am 28.04.2011

Aus der untenstehenden Grafik kann man deutlich herauslesen, dass der Einsatz von Solar-energie auch in Österreich unabhängig vom Einstrahlwinkel sinnvoll ist.

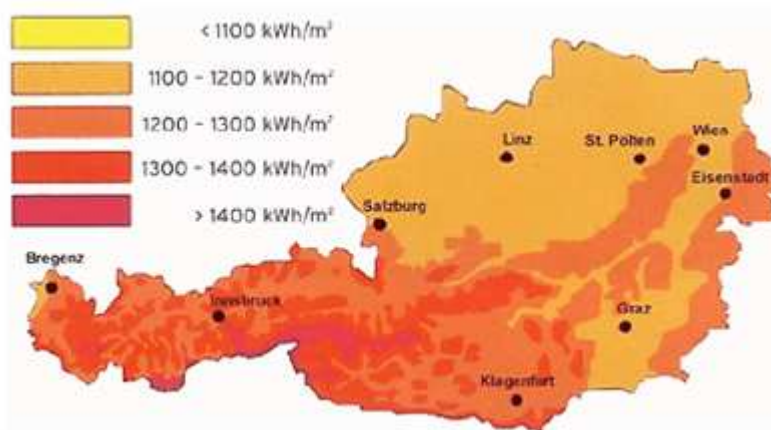


Abbildung 16: Sonneneinstrahlung in Österreich

Quelle: Solar Graz, Die Kraft der Sonne

Grundsätzlich wird die Solarenergie durch die Begriffe Solarthermie – Umwandlung der Sonnenenergie in thermische Energie (Wärme) und der Photovoltaik – Umwandlung der Sonnenenergie in elektrische Energie (Strom) unterschieden.

5.2 Solarthermie

5.2.1 Definition

Unter Solarthermie versteht man die Wärmeübertragung durch Strahlung von der Sonne auf die Erde.³¹

Die verschiedenen Anwendungsbereiche reichen von der Erwärmung des Wassers eines Schwimmbeckens, die solare Trinkwassererwärmung, Warmwasseraufbereitung und Raumbeheizung bis hin zu großen solarthermischen Kraftwerken, welche mit Hilfe eines thermodynamischen Kreisprozesses mechanische Energie erzeugen und über einen nachgeschalteten Generator elektrischen Strom gewinnen. Verschiedene Anwendungen bedürfen unterschiedlicher Temperaturniveaus und somit auch spezifischen Kollektoren Design.

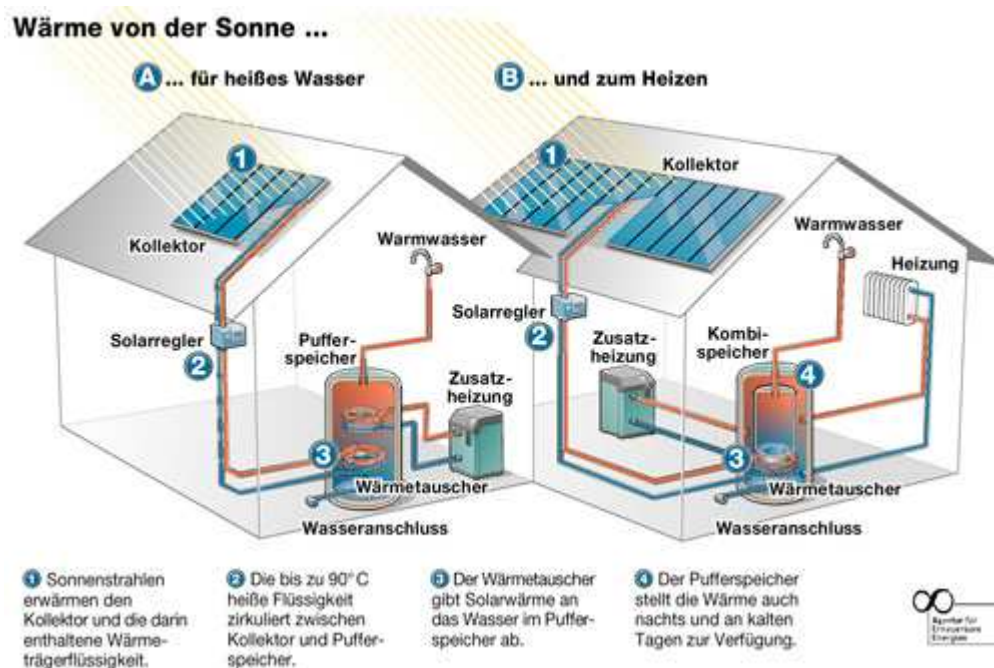


Abbildung 17: Anwendungsbeispiel zur Nutzung der Sonnen für Warmwasser und zu Heizzwecken

Quelle: www.unendlich-viel-energie.de

³¹ vgl. Geitmann, Sven: Erneuerbare Energien – Berlin: Hydrogeit Verlag, 2010 : Seite 65

5.2.2 Kollektoren

Hauptkomponente jeder solarthermischen Anlage ist der Solarkollektor, dessen Aufgabe die Umwandlung der elektromagnetischen Strahlungsenergie (d.h. die Energie der Photonen) in thermische Innere Energie ist. Aufgrund des stark schwankenden Solarenergieangebots ist der Kollektor meist mit einem thermischen Energiespeicher gekoppelt, der die zeitlich nicht übereinstimmende Energienachfrage mit dem Energieangebot ausgleicht.³²

Hauptsächlich eingesetzte Kollektoren werden in Flach- und Vakuum-Röhrenkollektoren sowie in Sonderbauformen, welche Merkmale von beiden Bauarten aufweisen (z.B. teilvakuierte Flachkollektoren) unterschieden. Luftkollektoren sowie Absorbermatten für Schwimmbadwasser-Erwärmung werden im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt. Eingesetzt werden Flach- und Röhrenkollektoren zur Brauchwassererwärmung sowie der Raumheizungsunterstützung. Grundsätzlich ist die realistische Bestimmung des tatsächlichen Wärmebedarfs Voraussetzung für den zu erwarteten Ertrag des Kollektors, da dessen Leistungsfähigkeit vom Gesamtsystem abhängig ist.

5.2.3 Flachkollektoren

Der Aufbau eines Flachkollektors ist durch die Grundkomponenten Gehäuse, Solarglas (Glasabdeckung), Solarabsorber, Wärmedämmung sowie Rohrleitungen für den Wärmeträger bestimmt. Das Gehäuse ist an der Rückseite sowie an den Seitenteilen wärmegeklämt und nach oben hin mit transparentem Solarglas versehen. Das Wärmeträgermedium wird meist über zwei seitlich gelegene Rohranschlüsse zu und abgeführt.

Der Absorber, welcher meist aus schwarz beschichteten Blechen, aus gut wärmeleitenden Materialien wie Aluminium oder Kupfer besteht, wandelt die auftreffenden Sonnenstrahlen in Wärme um. Die in den Wärmeträgerrohren strömende Wärmeträgerflüssigkeit ist für den Transport dieser zum Speicher verantwortlich.

³² vgl. Viktor Wesselak; Thomas Schabbach: Regenerative Energietechnik – Berlin Heidelberg: Springer, 2009: Seite 174

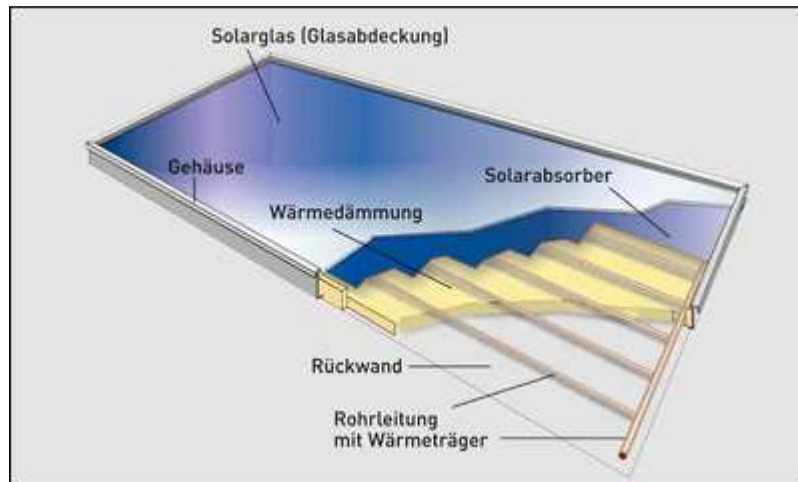


Abbildung 18: Aufbau eines Flächenkollektors und dessen Einzelkomponenten

Quelle: www.solaranlagen-portal.com/solarthermie/kollektoren/flachkollektor

5.2.4 Vakuumröhrenkollektoren

Bei Röhrenkollektoren ist der Absorber zur Reduzierung von Wärmeverlusten in ein Vakuum eingebaut. Es wird zwischen direkt und indirekt (Heat-Pipe) durchströmten Rohren unterschieden. Vakuumkollektoren weisen mit 80-85% den höchsten Wirkungsgrad aller Kollektortypen auf.

5.2.4.1 Direkt durchströmte Röhre

Die Vakuumröhre mit CPC Spiegel (Compound Parabolic Concentrator) basiert auf dem Thermoskannenprinzip und besteht aus zwei ineinander geschobenen Glasröhren zwischen denen ein Vakuum besteht. Die nutzbare Wärme entsteht auf der Außenseite der inneren Glasröhre, wo eine selektive Beschichtung das auftreffende Licht in Wärme umwandelt.

Diese wird an das im Inneren des Rohres anliegendem Wärmeleitblech abgegeben, das mit Kupferrohren in Verbindung steht und die aufgenommene Wärme an das darin fließende Wasser abgibt.³³

³³ vgl. Joos L.: Energieeinsparung in Gebäuden – Essen: Vulkan-Verlag, 2004: Seite 289

Der CPC Spiegel garantiert, dass direktes und diffuses Sonnenlicht auch bei ungünstigen Einstrahlungswinkel auf den Absorber reflektiert wird.

Aufbau einer einzelnen Röhre mit CPC-Spiegel im Schnitt

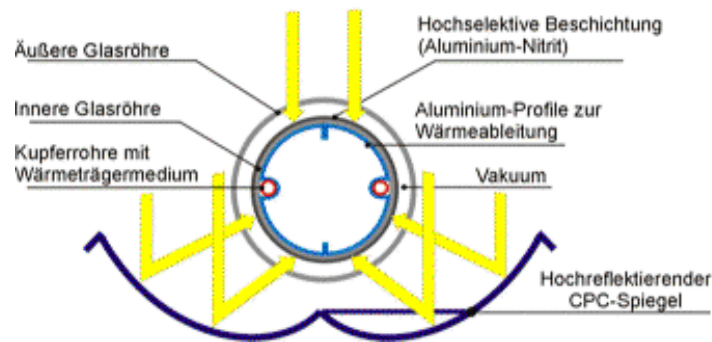


Abbildung 19: Vakuumpipe mit CPC Spiegel und dessen Einzelkomponenten

Quelle: www.solaranlagen-portal.com/solarthermie/kollektoren/cpc-spiegel

Das Rohr-in Rohrsystem (koaxial) befindet sich in der evakuierten (luftleeren) Glasröhre in der Mitte des beschichteten Absorberbleches. Über das innere Rohr wird kaltes Wasser in den Kollektor geleitet welches beim Rücklauf über das äußere Rohr erwärmt wird. Die Erwärmung entsteht durch die Umwandlung des auf dem Absorber auftreffenden Lichts in Wärme, die an das Wasser weitergeleitet und abgegeben wird.³⁴

5.2.4.2 Indirekt durchströmte Röhre

Beim Heat-Pipe-Prinzip befindet sich in der evakuierten Glasröhre ein beschichtetes Absorberblech, an dessen Rückseite sich ein mit Wasser gefülltes Kupferrohr befindet. Beim Auftreffen des Lichtes auf den Absorber wird das Licht in Wärme umgewandelt, die im Rohr befindliche Flüssigkeit verdampft und gelangt im Rohr aufsteigend an den Kondensator. Von diesem wird die Wärme an ein vorbei fließendes Wärmeträgermedium abgegeben, so dass der Dampf kondensiert und wieder nach unten ins Rohr zurückläuft um sich erneut zu erwärmen.³⁵

³⁴ vgl. Joos L.: Energieeinsparung in Gebäuden – Essen: Vulkan-Verlag, 2004: Seite 290

³⁵ vgl. Joos L.: Energieeinsparung in Gebäuden – Essen: Vulkan-Verlag, 2004: Seite 290

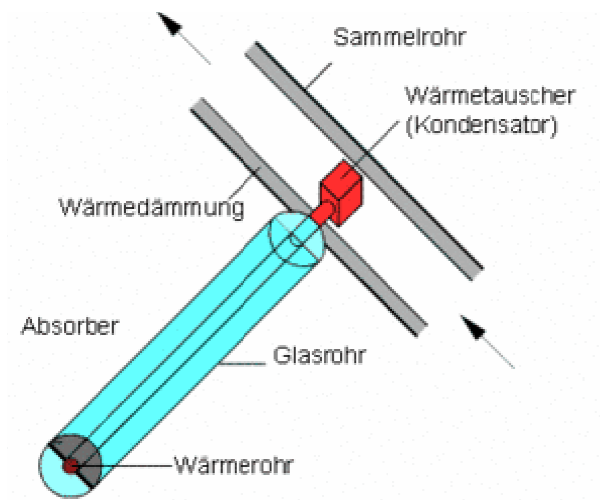


Abbildung 20: Vakuumröhrenkollektor – Heat Pipe Prinzip und dessen Einzelkomponenten

Quelle: www.solarserver.de/wissen/basiswissen/kollektoren.html

5.3 Solarthermie in Österreich

Die Entwicklung des Solarthermiemarktes in Österreich ist von einer starken Wachstumsphase in den 1990er Jahren, von einem leichten Marktrückgang um das Jahr 2000 und von einer weiteren starken Wachstumsphase ab 2005 gekennzeichnet.

Im Jahr 2010 wurden in Österreich 285.787 m² thermische Sonnenkollektoren, mit einer entsprechenden Leistung von 200 MW_{th} installiert. Verglaste Flachkollektoren, welche für die Brauchwassererwärmung und die Raumwärmebereitstellung eingesetzt werden, verzeichneten mit 94% der neu installierten Kollektoren, den größten Anteil.

im Jahr 2010 waren somit in Österreich ca. 4.5 Mio. m² thermische Sonnenkollektoren in Betrieb, was einer installierten Leistung von 3.191 MW_{th} entspricht. Der Nutzwärmeertrag dieser Anlagen lag bei 1.876 GWh_{th}. Dadurch konnten CO₂-Einsparungen in der Höhe von 411.596 t erzielt werden.

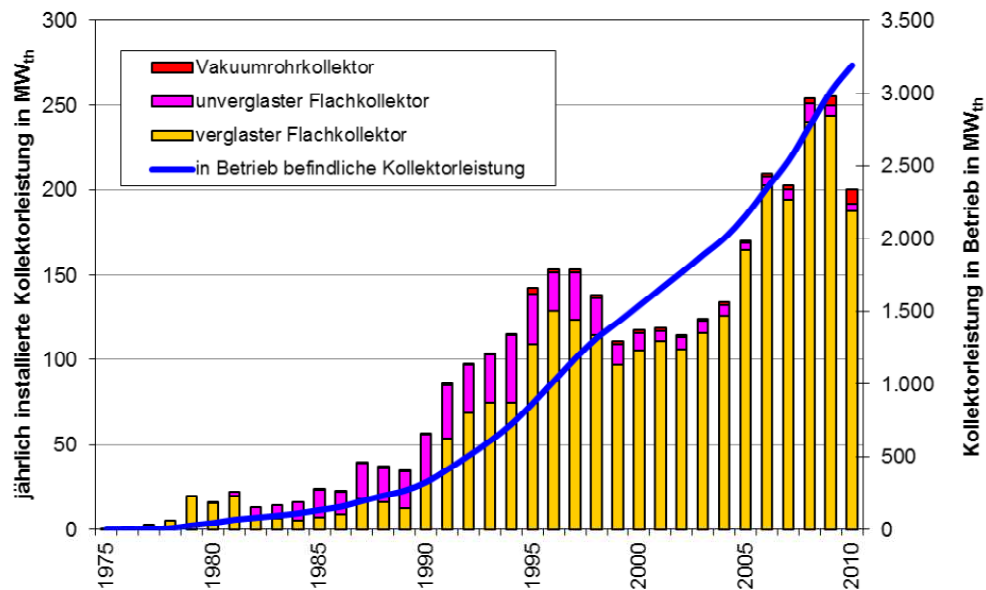


Abbildung 21: Marktentwicklung der Solarthermie in Österreich von 1975 – 2010 dargestellt durch die jährlich installierte Kollektorleistung in MW_{th} und der kumulierten Kollektorleistung in MW_{th} nach Kollektortyp

Quelle: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Innovative Energietechnologien in Österreich, Marktentwicklung 2010

Im Jahr 2010 sind in der Solarthermiebranche ca. € 420 Mio. umgesetzt worden, wobei der Exportanteil thermischer Kollektoren mit € 331,8 Mio. oder 79 % einen sehr hohen Anteil ausgemacht hat. Die Anzahl der Vollzeitarbeitsplätze für die Produktion, den Vertrieb, die Planung und die Installation von Solarthermischen Anlagen kann für das Jahr 2010 mit ca. 4.200 beziffert werden.³⁶

³⁶ vgl. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Innovative Energietechnologien in Österreich, Marktentwicklung 2010

5.4 Solarthermie in Graz

5.4.1 Solardachkataster der Stadt Graz

Ein wichtiger Stützpfeiler bei der Entwicklung eines kommunalen Energiekonzeptes der Stadt Graz (KEK 2020) ist die Nutzung von Sonnenenergie. Unter Beteiligung von Stadtvermessungs- und Umweltamt sowie mit Unterstützung aus der Solarbranche wurde der mittlerweile über die Grenzen Österreichs hinaus bekannte „Grazer Solardachkataster“ erstellt. Fotografisch erfasste Dachdaten wurden mit einem digitalen Oberflächenmodell zusammengeführt und nach Berücksichtigung bedeutender Einflußgrößen wie Dachneigung, Dachexposition und Verschattung ausgewertet. Mit diesem Instrument können Interessenten wie Bauträger, Baubehörden etc. unter www.gis.graz.at per Mausklick mögliche Potentiale zur Nutzung von Solarenergie ermitteln. Rund 40 % der insgesamt 14 Mio. m² Dachflächen in Graz, bieten sich für mehr oder weniger lohnende Solarerträge an. Mit dem daraus gewonnenen 2.000 GWh Solarstrom könnte in etwa der gesamte Energieeinsatz der Stadt für Heizung und Warmwasser pro Jahr gedeckt werden. Über dieses Potential hinaus würden sich noch weitere Dachflächen zur Nutzung von Solarenergie eignen.

Aufgrund des Altstadterhaltungsgesetztes von 1980 ist die so genannte Altstadt-Sachverständigenkommission aber bemüht definierte erhaltenswerte Dachflächen ,vor der Verbauung mit Solartechnologie zu schützen. Zwar kommt den Gutachten der Kommission keine Verbindlichkeit für die Baubehörde zu, sie werden aber in etwa 90% der Verfahren der behördlichen Entscheidung zugrunde gelegt, womit die betroffenen Dachflächen im Grazer Solardachkataster von Beginn an nicht einbezogen wurden.



Abbildung 22: Beispiel Grazer Solardachkataster mit Legende

Quelle: www.gis.graz.at - Eigendarstellung

5.5 Photovoltaik

5.5.1 Definition

Der Begriff Photovoltaik definiert die direkte Umwandlung von Strahlungsenergie in Elektrizität. Licht aus diffuser oder direkter Solarstrahlung setzt in Solarzellen unter normalen Bedingungen elektrische Ladungen frei und erzeugt an den Kontakten der Zelle eine elektrische Spannung. Diesen Effekt nennt man den photovoltaischen Effekt, von Photo- gleich Licht und Volt, der Maßeinheit für die Spannung.³⁷

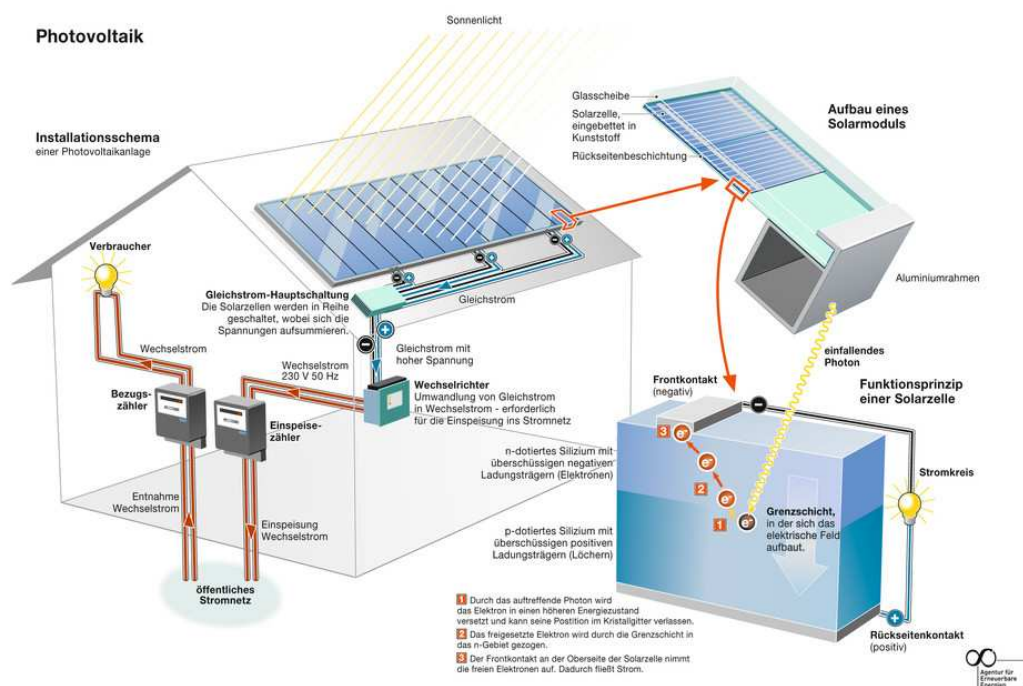


Abbildung 23: Funktionsschema einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage

Quelle: www.unendlich-viel-energie.de

³⁷ vgl. Rexroth Susanne: Gestalten mit Solarzellen - Heidelberg: Müller Verlag, 2002: Seite 153

5.5.2 Photovoltaik Module

Die wichtigsten Komponenten jeder Photovoltaik Anlage sind die Photovoltaik Module. Aus technischer Sicht sind sie für die Umwandlung der Sonnenenergie in Strom verantwortlich und aus wirtschaftlicher Sicht stellen sie den größten Anteil der Investitionskosten dar. Die Photovoltaikmodule bestehen meist aus einem Metallrahmen, in welchem texturierte mono- oder polykristalline Siliziumzellen eingebettet sind. Im Rahmen dieser Arbeit werden diese beiden Zellenarten aus der Gruppe der kristallinen Silizium Zellen näher behandelt.

5.5.2.1 Monokristalline Siliziumzellen

Monokristalline Zellen charakterisiert eine periodische Anordnung ihrer Kristalle in nur eine Richtung. Zur Herstellung werden hochreine Siliziumeinkristalle als Halbleitermaterial benötigt. Aus der Siliziumschmelze werden unter Abkühlung einkristalline Stäbe gezogen, welche anschließend in dünne Scheiben zersägt werden. Mit diesem Herstellungsverfahren werden verglichen mit anderen Zelltypen, mit hohem Energie- und Kostenaufwand, mit 16 – 18% die höchsten Wirkungsgrade erreicht.³⁸



Abbildung 24: Beispiel einer monokristallinen Siliziumzelle

Quelle: www.solaranlagen-portal.com/solarmodule/systeme/monokristallin

³⁸ vgl. Panos Konstantin: Praxisbuch Energiewirtschaft, Energieumwandlung-, transport und – beschaffung im liberalisierten Markt - Heidelberg: Springer Verlag, 2.Auflage 2009: Seite 314

5.5.2.2 Polykristalline Siliziumzellen

Die am meisten angewandte Zellentechnologie wird durch polykristalline Siliziumzellen abgebildet. Bei der Herstellung wird flüssiges Silizium in Blöcke gegossen. Beim Abkühlen des Siliziums entstehen verschieden ausgerichtete, von einander abgegrenzte Kristallkörner. Energieaufwand und Produktionskosten sind verglichen mit der Herstellung von monokristallinen Siliziumzellen wesentlich niedriger. Allerdings werden bei diesem Herstellungsverfahren deutlich geringere Wirkungsgrade von ca. 14% erreicht.³⁹



Abbildung 25: Beispiel für eine polykristalline Siliziumzelle mit typischer Kristallstruktur

Quelle: www.solaranlagen-portal.com/solarmodule/systeme/monokristallin

5.6 Photovoltaik in Österreich

Im Jahr 2010 wurden in Österreich netzgekoppelte Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von 42.695 kWp und autarke Anlagen mit einer Gesamtleistung von 207 kWp installiert. Insgesamt ergibt dies einen Zuwachs von 42.902 kWp, der in Österreich im Jahr 2010 zu einer kumulierten Gesamtleistung aller Photovoltaikanlagen von 95,5 MWp geführt hat. Die in Österreich in Betrieb befindlichen Photovoltaikanlagen führten 2010 zu einer erneuerbaren Stromproduktion von 88,813 GWh und damit zu einer Reduktion von CO₂ Emissionen im Umfang von 36.733 t.⁴⁰

³⁹ vgl. Panos Konstantin: Praxisbuch Energiewirtschaft, Energieumwandlung-, transport und – beschaffung im liberalisierten Markt - Heidelberg: Springer Verlag, 2.Auflage 2009: Seite 314

⁴⁰ vgl. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Innovative Energietechnologien in Österreich- Marktentwicklung 2010, Seite 13

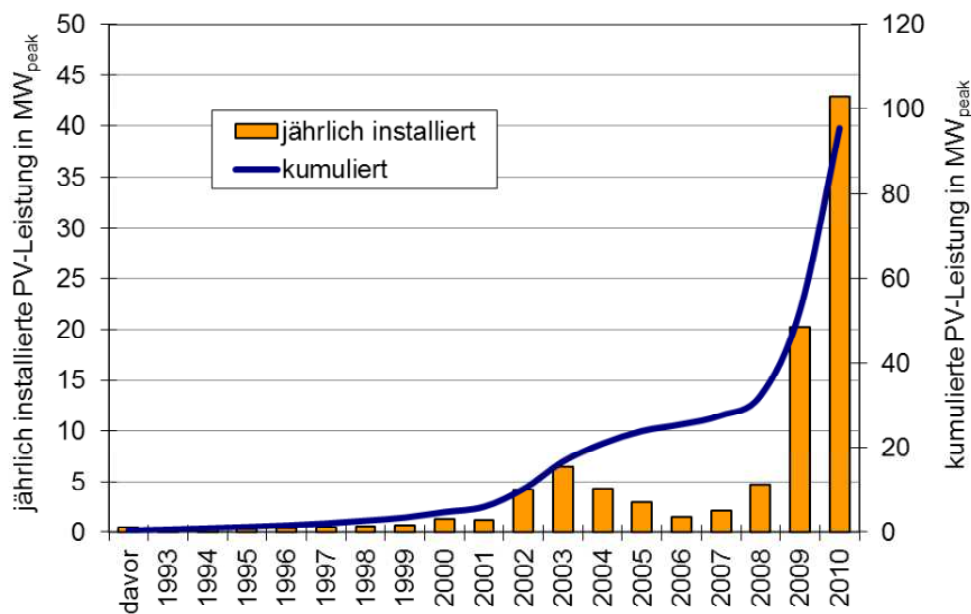


Abbildung 26: Marktentwicklung der Photovoltaik in Österreich von 1992 – 2010 dargestellt durch die jährlich installierte Photovoltaik-Leistung in MWp und kumulierter Leistung in MWp

Quelle: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Innovative Energietechnologien in Österreich, Marktentwicklung 2010

Die österreichische Photovoltaikindustrie beschäftigt sich mit der Herstellung von Modulen und Zellen, der Installation von Anlagen, dem Handel, der Wechselrichter- und Nachführsystemherstellung, mit Forschung und Entwicklung. In diesem Wirtschaftsbereich waren im Jahr 2009 2.870 Vollzeit Arbeitsplätze zu verbuchen. Der mittlere spezifische Preis einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage in Österreich ist vom Jahr 2008 auf das Jahr 2009 von 5.100 Euro/kWp auf 4.400 Euro/kWp um 14% gesunken. Diese Beobachtung belegt eine hohe ökonomische Lernrate, welche auch mit dem stark wachsenden Weltmarkt in Zusammenhang steht.⁴¹

⁴¹ vgl. <http://www.pvaustria.at/content/page.asp?id=259>, verfügbar am 17.05.2011

5.7 Produktion von Strom aus Erneuerbaren und Stromverbrauch

Bei der Produktion von Strom aus Erneuerbaren Energien wird angenommen, dass eine Substitution von österreichischen Stromimporten nach dem ENTSO-E Mix erfolgt. Der Emissionskoeffizient des ENTSO-E Mix betrug im Jahr 2010 413,6 g CO₂ Äquivalent/kWh_{el} auf Basis der Endenergie. Der Nuklearenergieanteil im ENTSO-E Mix von 26,6% im Jahr 2010 wird dabei als Treibhausgasneutral, d.h. mit 0 g CO₂ Äquivalent/kWh_{el} bewertet. Dieser Emissionskoeffizient wird im Rahmen dieser Arbeit zur Berechnung der Treibhausgasemissionsreduktion durch Produktion von elektrischer Energie mittels Photovoltaik verwendet.⁴²

Beim Verbrauch von elektrischem Strom für Brauchwasser-Wärmepumpen, Strom für Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung wird der Emissionskoeffizient der mittleren österreichischen Stromaufbringung 2010 mit 252,6 g CO₂ Äquivalent/kWh_{el} verwendet.

Tabelle 11: Emissionskoeffizienten zur Berechnung der Treibhausgasemissionsreduktion – Basisdaten 2010

Sektor	Koeffizient g CO ₂ äqu / kWh	Anwendungsbereich
Strom (Produktion)	413,6	Photovoltaik
Strom(Verbrauch Band)	252,6	Feste Biomasse Kessel Brauchwasser Solaranlagen Brauchwasser Wärmepumpen Brauchwasser
Strom (Verbrauch HTG)	300,2	Feste Biomasse Kessel und Öfen Raum- wärme Solaranlagen Raumwärme Wärmepumpen Heizung

Quelle: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Innovative Energietechnologien in Österreich, Marktentwicklung 2010

⁴² vgl. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Innovative Energietechnologien in Österreich- Marktentwicklung 2011, Seite 29

5.8 Fördersituation Österreich

Die Tarifförderung ist in dem seit 2002 und seither mehrmals novellierten bundesweit gültigen Ökostromgesetz geregelt. Die Höhe der Einspeisetarife wird jährlich durch die Ökostromverordnung geregelt.

Auszug Ökostromverordnung:⁴³

Um eine Förderung zu erhalten, müssen 100 % des gewonnenen Stroms in das Netz eingespeist werden. Die Preise für die Abnahme elektrischer Energie aus Photovoltaikanlagen, die ausschließlich an oder auf einem Gebäude oder einer Lärmschutzwand angebracht sind, werden wie folgt festgesetzt:

5 kWp bis 20 kWp.....38 Cent/kWh

über 20 kWp 33 Cent/kWh

Die Preise für die Abnahme elektrischer Energie aus Photovoltaikanlagen, die nicht ausschließlich an oder auf einem Gebäude oder einer Lärmschutzwand angebracht sind, z.B. auf Freiflächen, werden wie folgt festgesetzt:

5 kWp bis 20 kWp..... 35 Cent/kWh

über 20 kWp..... 25 Cent/kWh

⁴³ vgl. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich; Ökostromverordnung 2011; 28.01.2011

5.8.1 Fördersituation Steiermark

Im folgenden Abschnitt werden die Eckdaten zur direkten Förderung netzgekoppelter Photovoltaikanlagen aus dem Steirischen Umweltfond in der Steiermark 2011 aufgezeigt.

Bei Neuerrichtung einer Photovoltaikanlage wird ein Direktzuschuss in Form eines Sockelbetrages von 500 Euro und eines Förderbetrages von 1.000 Euro, für Anlagen ab 3 kWp gewährt. Für jedes weitere erreichte kWp gibt es zusätzlich 250 Euro. Die maximale förderbare Leistung beträgt jedoch 5 kWp je Zählpunkt. Die Beihilfenobergrenze der Landesförderung aus dem Steirischen Umweltlandesfonds beträgt je PV-Anlage 2.000 Euro, im Geschloßwohnbau mit max. 15 kWp, 4.500 Euro. Je Wohneinheit (WE) ist jeweils nur ein Zählpunkt förderbar. Bei ergänzendem Zuschuss durch den Klima- und Energiefonds (KLIEN-Fonds) reduzieren sich der Sockelbetrag auf 375 Euro sowie der zusätzliche Förderbetrag. Voraussetzung für die Förderung aus dem Steirischen Umweltlandesfonds ist eine Förderung durch die jeweilige Gemeinde.⁴⁴

5.9 Realisierung Photovoltaik – Energieturm

Der Siloturm auf dem neu zu entwickelndem Gelände bietet auf der Südseite ca. 3000 m² sowie auf der Westseite ca. 900 m² solar aktivierbare Fläche. Im folgenden Abschnitt wird die Umsetzung von Photovoltaik-Technologie betrachtet.

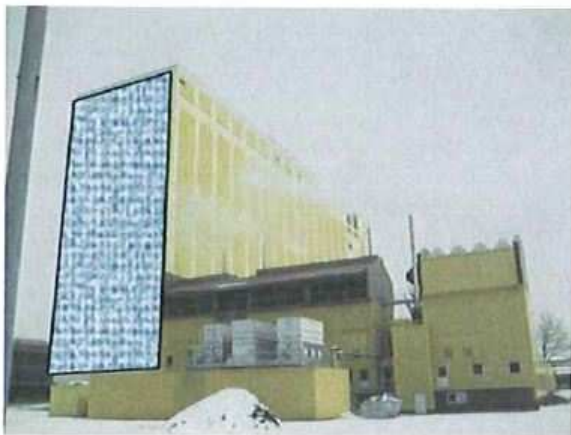


Abbildung 27: Siloturm Ansicht Südseite

Quelle: Eigendarstellung

⁴⁴ vgl. <http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/beitrag/10098174/2627997/>, verfügbar am 17.05.2011

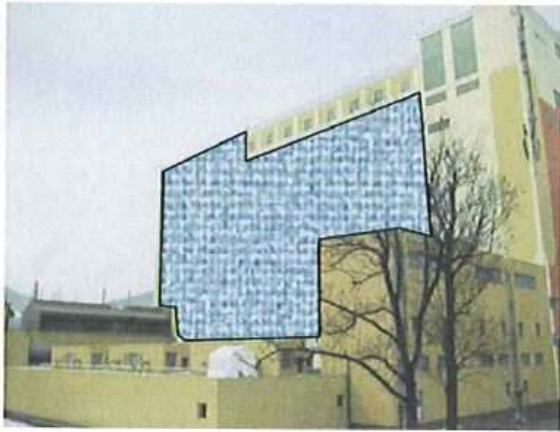


Abbildung 28: Siloturm Ansicht Südseite

Quelle: Eigendarstellung

Die für die PV-Energiegewinnung nutzbaren Flächen sind auf der Südseite 16° ostwärts und auf der Westseite 74° westwärts azimuthal orientiert (Süden: 0° ; Osten: -90° ; Westen: $+90^\circ$)

Durch den Einsatz von standardisierten PV-Modulen (polykristallin) in BIPV-Technologie (building integrated photovoltaic) mit Abmessungen $1,68\text{ m} \times 1,0\text{ m}$ ergibt sich unter folgender Annahme Südseite 1770 Module mit 425 kWp und Ostseite 540 Module mit 130 kWp installierter Leistung eine gesamte solare Ernte von ca. 385.000 kWh pro Jahr.

5.9.1 Photovoltaik Module

Die Module bestehen aus einem Aluminiumrahmen, in welchem 60 polykristalline Zellen eingebettet sind. Die Module können sowohl seriell als auch parallel miteinander verschaltet werden.

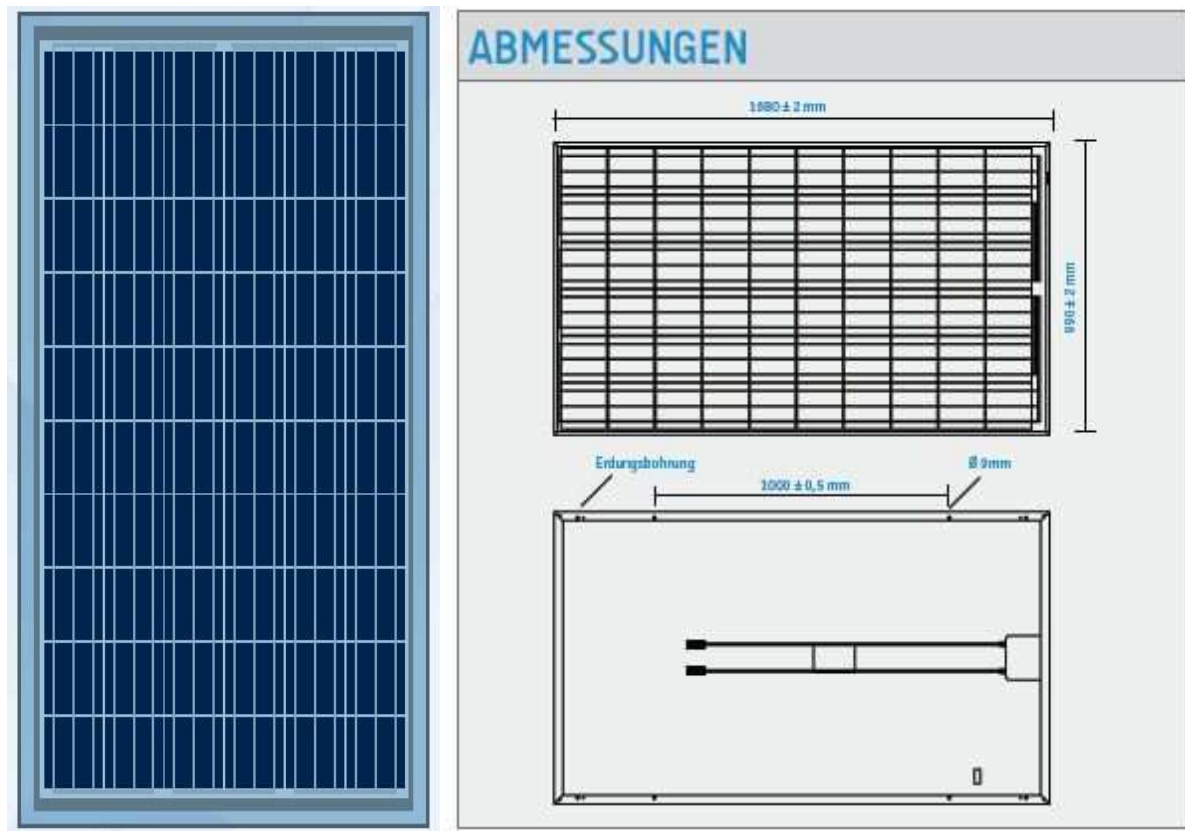


Abbildung 29: Photovoltaik Modul inkl. Abmessungen

Quelle: Solarwatt AG - Datenblatt

ALLGEMEINE DATEN	
Modultechnologie	Glas-Folie-Laminat; Aluminiumrahmen
Deckmaterial	Hochtransparentes Solarglas (gehärtet), 4 mm
Verkapselung	EVA-Solarzellen-EVA
Rückseitenmaterial	Tedlar-Polyester-Tedlar-Folienverbund, weiß
Solarzellen	60 polykristalline Solarzellen
Maße der Zellen	156 x 156 mm
Kabel und Kabelanschluss	Tyco-Anschlussdose mit Kabeln 2 x 1,20 m/4 mm ² , Tyco-Steckverbinder
Bypass-Dioden	3 Stück
Anwendungsklasse	Application class A (nach IEC 61730)
Abmessungen (LxBxD)	1680 x 990 x 50 mm
Gewicht	24 kg
Max. Systemspannung	1000 V
IP Schutzgrad	IP 65
Mechanische Belastbarkeit	Soglast geprüft bis 2400 Pa (Windgeschwindigkeit 130 km/h mit Sicherheitsfaktor 3) Auflast geprüft bis 5400 Pa
Qualifikationen	IEC 61215 Ed.2, IEC 61730 (inkl. Schutzklasse II)

Abbildung 30: Technische Daten der Photovoltaik Module

Quelle: Solarwatt AG - Datenblatt

ELEKTRISCHE EIGENSCHAFTEN BEI STC				STC: Standard Test Conditions: Bestrahlungsstärke 1000W/m², Spektrale Verteilung AM 1,5, Temperatur 25±2 °C, entsprechend EN 60904-3			
Bezeichnung	SOLARWATT P210-60 GET AK						
Nennleistung P _{max}	210 Wp	215 Wp	220 Wp	225 Wp	230 Wp	235 Wp	240 Wp
Nennspannung U _{mpp}	28,2 V	28,3 V	28,4 V	28,6 V	28,8 V	29,1 V	29,4 V
Nennstrom I _{mpp}	7,45 A	7,61 A	7,76 A	7,87 A	8,00 A	8,08 A	8,17 A
Leerlaufspannung U _{oc}	36,3 V	36,5 V	36,6 V	36,7 V	36,9 V	36,9 V	37,0 V
Kurzschlussstrom I _{sc}	7,98 A	8,16 A	8,30 A	8,42 A	8,50 A	8,56 A	8,61 A
Rückstrombelastb. I _R *	16 A	16 A	17 A	17 A	17 A	17 A	17 A
Mess toleranzen bezogen auf P _{max} ±5 % *Rückstrombelastbarkeit: Betrieb der Module mit eingespeisten Fremdstrom ist nur bei Verwendung einer Strangsicherung mit Auslösestrom < 2 x I _R @ STC* zulässig.							

Abbildung 31: Elektrische Daten der Photovoltaik Module

Quelle: Solarwatt AG - Datenblatt

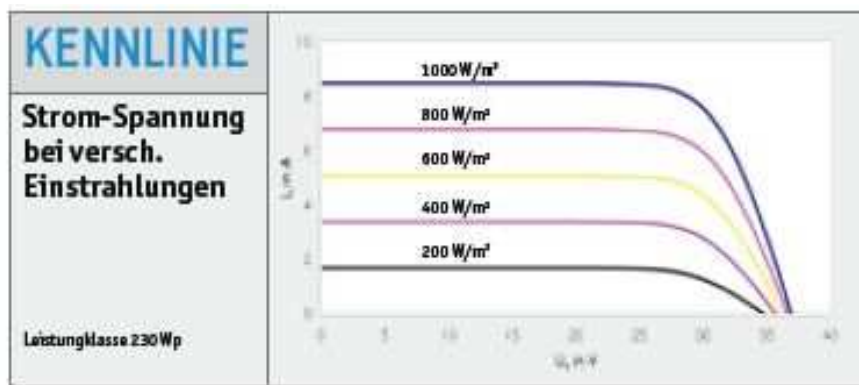


Abbildung 32: Leistungskennlinie der Photovoltaik Module

Quelle: Solarwatt AG – Datenblatt

5.9.2 Wechselrichter

Bei diesem Projekt wird der durch die Photovoltaik Module generierte Gleichstrom über mehrere Wechselrichter in Wechselstrom umgerichtet. Dabei werden die Module seriell und parallel zu sogenannten Strings verschaltet und zum Wechselrichter geführt. Zur Visualisierung und Anlagenüberwachung werden die Daten der Wechselrichter über dementsprechende Schnittstellen ausgelesen und weiterverarbeitet. Zusätzlich ist die Konfiguration aller Anlagenkomponenten möglich.

In den folgenden Simulationen zur Berechnung der Solarerträge werden Wechselrichter der Firma Fronius International verwendet. Der Einsatz unterschiedlicher Wechselrichtertypen mit verschiedenen Nenndaten und Wirkungsgraden ist mit der optimalen Auslegung der Wechselrichter auf die vorhandenen Gegebenheiten begründet.

Der Maximum Power Punkt (oder kurz MPP) ist der Punkt des Strom-Spannungs-Diagramms einer Solarzelle, an dem die größte Leistung entnommen werden kann, d.h. der Punkt, an welchem das Produkt von Strom und Spannung sein Maximum hat.⁴⁵

⁴⁵ vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Maximum_Power_Point, verfügbar am 08.07.2011

5.9.3 Unterschiedliche Ausstellung PV-Module Westseite Energieturm

Nachfolgend werden für unterschiedliche PV-Ausstellungen, wird von der Vertikalen und nicht wie die Neigung von der horizontalen gemessen, die solare Einstrahlung pro Quadratmeter und Monat, sowie die Solarernte für die an der Westseite montierte Anlage aufgezeigt. Durch die die Ausstellung der PV-Module kommt es zu einer Schattenabdeckung des Wurf-schattens darunterliegender PV-Module. Für den worst case des Jahres muss somit ein Abstand zwischen den Modulen betrachtet werden. Aufgrund dieses Abstands ergibt sich eine reduzierte Anzahl von Modulen und eine Reduktion der installierten PV-Module-Leistung in kWp. Die erzielte Jahresgesamternte (Ertrag) wird in kWh ausgewiesen.

Watt peak ist eine im Bereich Photovoltaik gebräuchliche, nicht normgerechte Bezeichnung für die elektrische Leistung von Solarzellen. Der Begriff setzt sich aus der Einheit Watt und dem englischen Wort peak für Spitze zusammen.

Die Angabe Watt Peak stellt weder die Nennleistung noch eine maximale Leistung der Solarmodule dar, sondern die abgegebene elektrische Leistung unter Standard-Testbedingungen (STC) mit den Parametern Zelltemperatur von 25 °C, einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m² und einem Sonnenlichtspektrum gemäß AM von 1,5.⁴⁶

⁴⁶ vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Watt_Peak, verfügbar am 16.05.2011

Nachstehend werden für alle Simulationsbeispiele die Systemschemen mit den zugehörigen Systemkomponenten sowie die wichtigsten Simulationsergebnisse dargestellt:

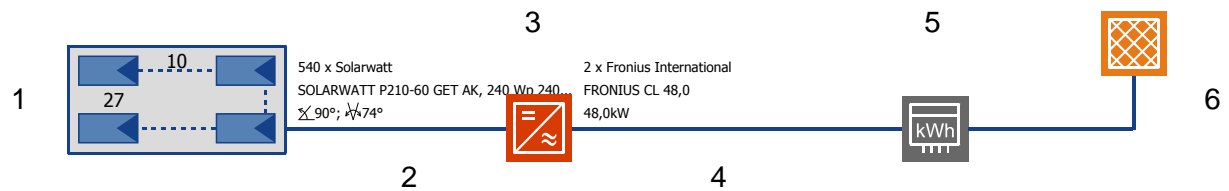


Abbildung 33: Systemschema Westseite Variante 0° Ausstellung der PV- Module



1. PV-Module (seriell / parallel verschaltet)
2. Gleichstromleitung
3. Wechselrichter
4. Wechselstromleitung
5. Stromzähler
6. Stromnetz

I: Westseite – 0°Ausstellung der PV – Module (entspricht voller vertikale Ausrichtung)

Standort:	Graz
Klimadatensatz:	Graz
PV-Leistung:	129,6 kWp
PV Brutto- / Bezugsfläche:	898,13 / 900,74 m ²
PV-Generatoreinstrahlung:	689.480 kWh
PV Generator erzeugte Energie:	85.720 kWh
PV Generator erzeugte Energie (wechselseitig):	80.021 kWh
Netzeinspeisung:	80.021 kWh
Systemnutzungsgrad:	11,60%
Anlagennutzungsgrad:	80,40%
Spezifischer Jahresertrag:	615,5 kWh/kWp
Vermiedene CO ₂ Emissionen:	70.680 kg/a

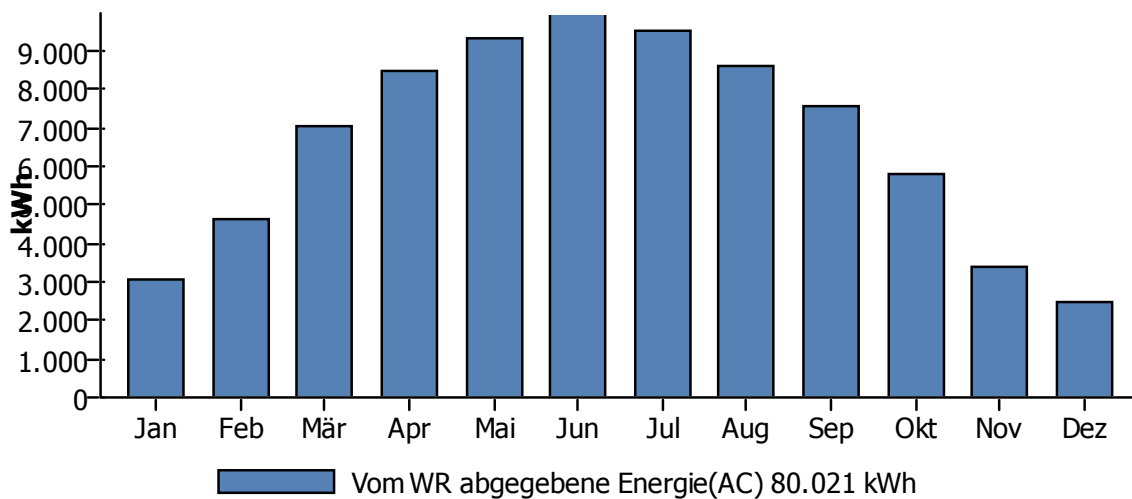


Abbildung 34: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Westseite Variante 0°Ausstellung der PV- Module

II: Westseite – 78° Ausstellung der PV – Module

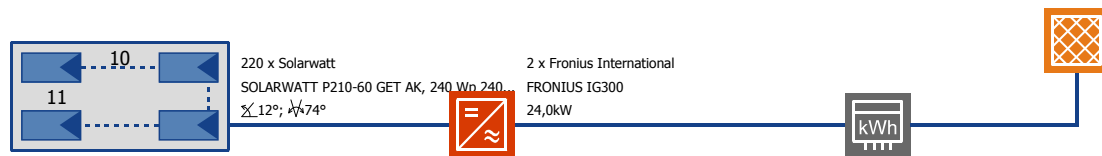


Abbildung 35: Systemschema Westseite Variante 78° A usstellung der PV- Module

Standort:	Graz
Klimadatensatz:	Graz
PV-Leistung:	52,8 kWp
PV Brutto- / Bezugsfläche:	365,90 / 366,97 m²
PV-Generatoreinstrahlung:	418.865 kWh
PV Generator erzeugte Energie:	51.585 kWh
PV Generator erzeugte Energie (wechselseitig):	47.723 kWh
Netzeinspeisung:	47.723 kWh
Systemnutzungsgrad:	11,40%
Anlagennutzungsgrad:	78,90%
spezifischer Jahresertrag:	901,0 kWh/kWp
Vermiedene CO ₂ Emissionen:	42.150 kg/a

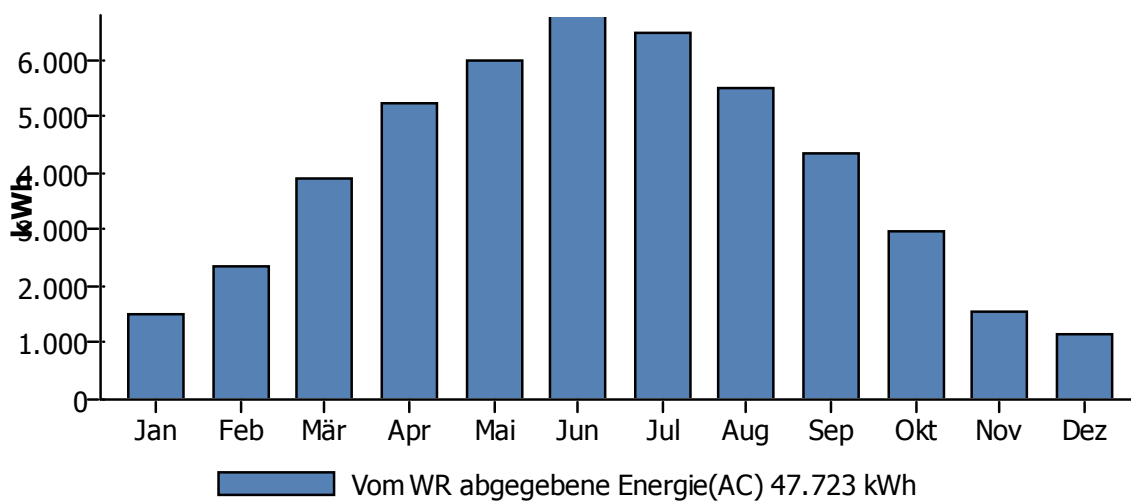


Abbildung 36: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Westseite Variante 78° Ausstellung der PV- Module

III: Westseite – 55° Ausstellung der PV – Module

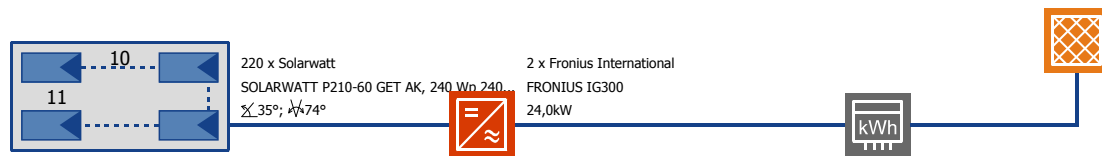


Abbildung 37: Systemschema Westseite Variante 55° Ausstellung der PV- Module

Standort:	Graz
Klimadatensatz:	Graz
PV-Leistung:	52,80 kWp
PV Brutto- / Bezugsfläche:	365,90 / 367,97 m²
PV-Generatoreinstrahlung:	408.231 kWh
PV Generator erzeugte Energie:	50.803 kWh
PV Generator erzeugte Energie (wechselseitig):	46.913 kWh
Netzeinspeisung:	46.913 kWh
Systemnutzungsgrad:	11,50%
Anlagennutzungsgrad:	79,60%
spezifischer Jahresertrag:	885,7 kWh/kWp
Vermiedene CO ₂ Emissionen:	41.433 kg/a

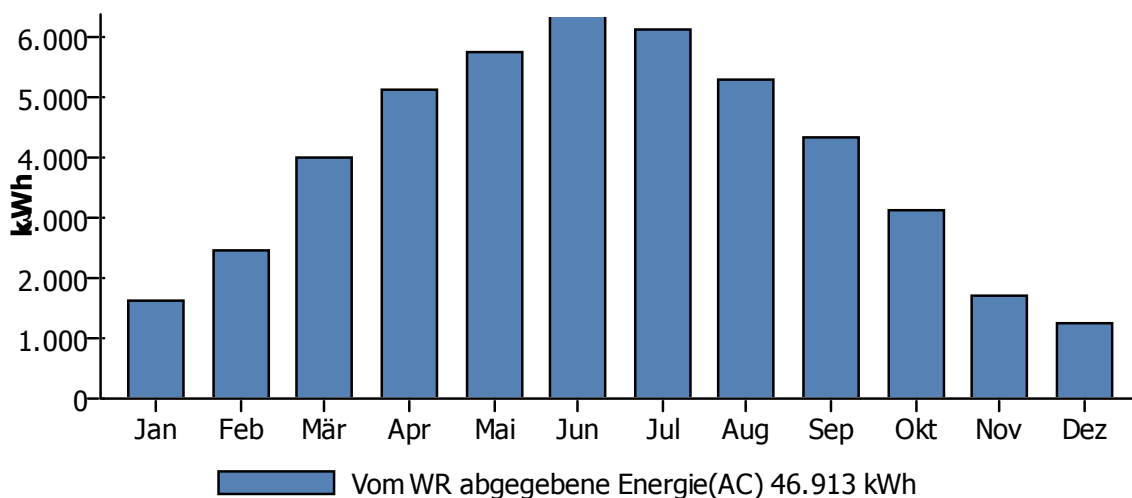


Abbildung 38: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Westseite Variante 55° Ausstellung der PV- Module

IV Westseite – 40° Ausstellung der PV – Module

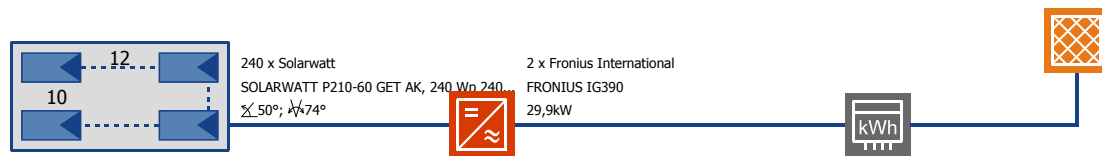


Abbildung 39: Systemschema Westseite Variante 40° A usstellung der PV- Module

Standort:	Graz
Klimadatensatz:	Graz
PV-Leistung:	57,60 kWp
PV Brutto- / Bezugsfläche:	399,17 / 400,33 m²
PV-Generatoreinstrahlung:	422.121 kWh
PV Generator erzeugte Energie:	52.683 kWh
PV Generator erzeugte Energie (wechselseitig):	48.361 kWh
Netzeinspeisung:	48.361 kWh
Systemnutzungsgrad:	11,40%
Anlagennutzungsgrad:	79,30%
spezifischer Jahresertrag:	836,5 kWh/kWp
Vermiedene CO ₂ Emissionen:	42.689 kg/a

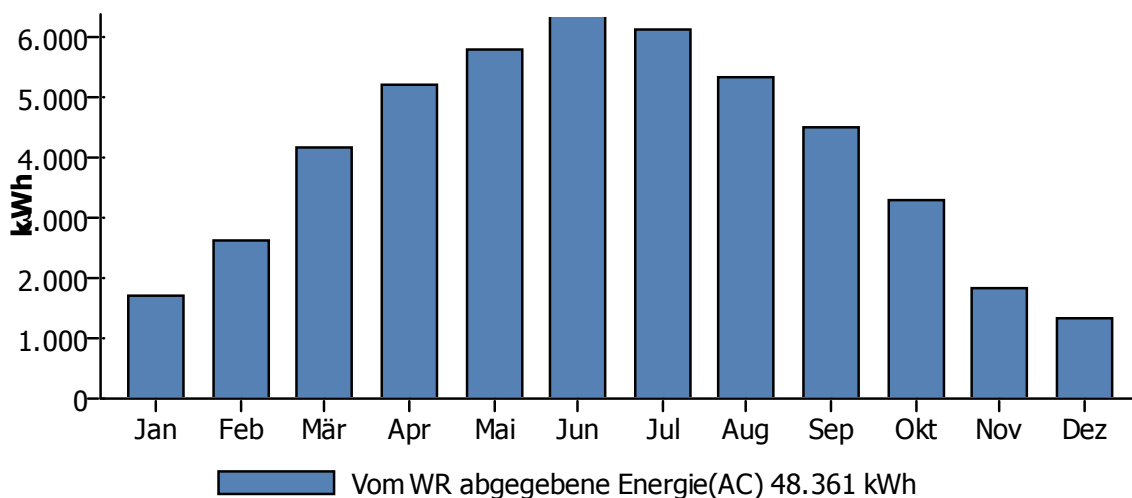


Abbildung 40: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Westseite Variante 40° Ausstellung der PV- Module

V Westseite – 25° Ausstellung der PV – Module

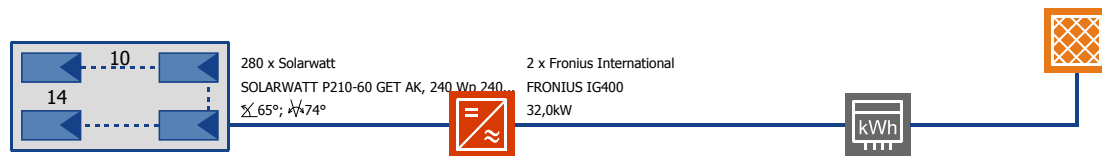


Abbildung 41: Systemschema Westseite Variante 25° Ausstellung der PV- Module

Standort:	Graz
Klimadatensatz:	Graz
PV-Leistung:	67,20 kWp
PV Brutto- / Bezugsfläche:	465,7 / 467,05 m ²
PV-Generatoreinstrahlung:	451.105 kWh
PV Generator erzeugte Energie:	56.307 kWh
PV Generator erzeugte Energie (wechselseitig):	51.903 kWh
Netzeinspeisung:	51.903 kWh
Systemnutzungsgrad:	11,50%
Anlagennutzungsgrad:	79,70%
spezifischer Jahresertrag:	769,7 kWh/kWp
Vermiedene CO ₂ Emissionen:	45.827 kg/a

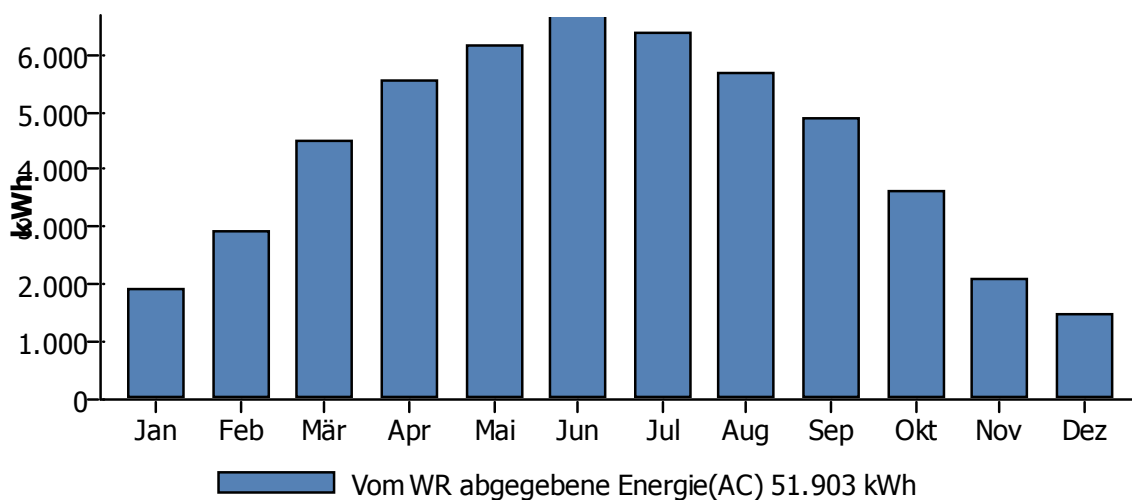


Abbildung 42: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Westseite Variante 25° Ausstellung der PV- Module

VI Westseite – 10°Ausstellung der PV – Module

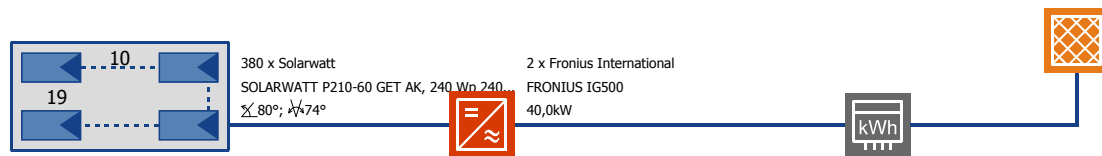


Abbildung 43: Systemschema Westseite Variante 10°A usstellung der PV- Module

Standort:	Graz
Klimadatensatz:	Graz
PV-Leistung:	91,20 kWp
PV Brutto- / Bezugsfläche:	632,02 / 633,86 m ²
PV-Generatoreinstrahlung:	539.938 kWh
PV Generator erzeugte Energie:	67.383 kWh
PV Generator erzeugte Energie (wechselseitig):	62.116 kWh
Netzeinspeisung:	62.116 kWh
Systemnutzungsgrad:	11,50%
Anlagennutzungsgrad:	79,70%
spezifischer Jahresertrag:	678,8 kWh/kWp
Vermiedene CO ₂ Emissionen:	54.850 kg/a

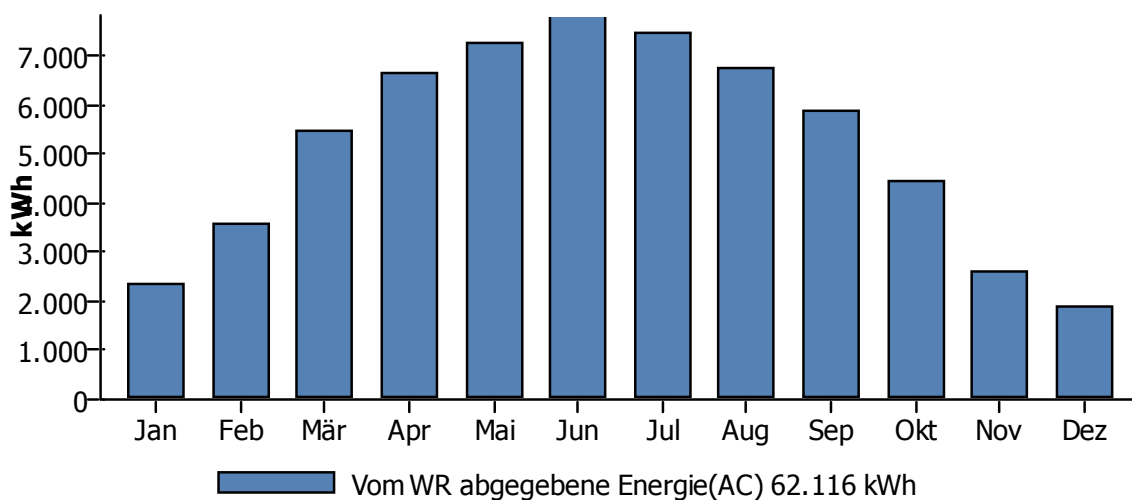


Abbildung 44: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Westseite Variante 10°Ausstellung der PV- Module

Energy City Graz Reininghaus - Energieturm

PV-Vergleich Westseite

Tabelle 12: Aufstellung der unterschiedlichen Simulationsergebnisse Westseite

Größe	Einheit	I	II	III	IV	V	VI
Neigung	°	0	78	55	40	25	10
Azimutabweichung	°	74	74	74	74	74	74
Module horizontal	-	20	20	20	20	20	20
Module vertikal	-	27	11	11	12	14	19
Modulanzahl	Stk.	540	220	220	240	280	380
Nominalleistung pro Modul	Wp	240	240	240	240	240	240
Installierte Leistung	kWp	129,60	52,80	52,80	57,60	67,20	91,20
Jahresertrag	kWh	80.021	47.723	46.913	48.361	51.903	62.116
Ertrag pro Modul	kWh	148	217	213	202	185	163

Quelle: Simulationen und Ertragsberechnungen wurden mit der Software PV*Sol der Firma Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH erstellt.

Tabelle 13: Investitionskosten und Kostenoptimum je geernteter Kilowattstunde

Größe	Einheit	I	II	III	IV	V	VI
Kosten	€	415.000	169.000	169.000	185.000	216.000	292.000
Kosten pro kWh	€/kWh	5,19	3,54	3,60	3,83	4,16	4,70

Quelle: Simulationen und Ertragsberechnungen wurden mit der Software PV*Sol der Firma Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH erstellt.

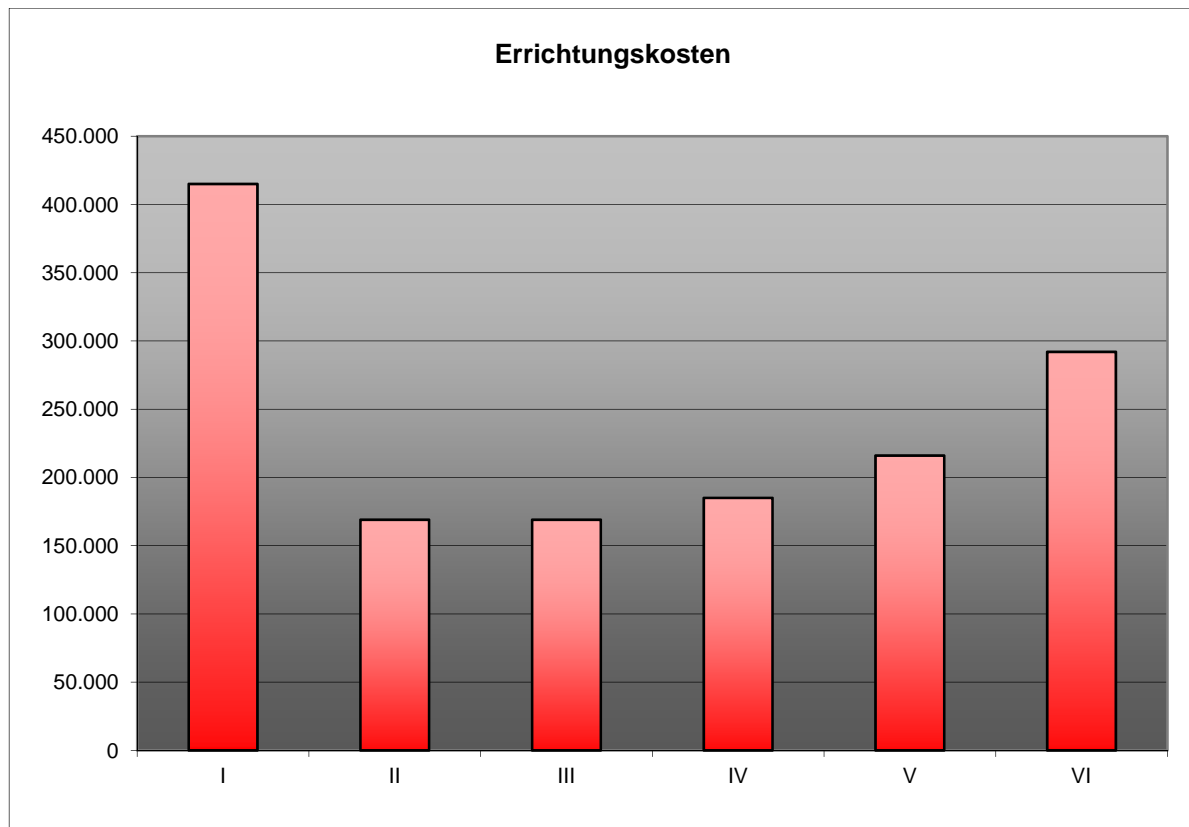


Abbildung 45: Aufstellung Errichtungskosten der für unterschiedlichen Simulationsergebnisse in Euro

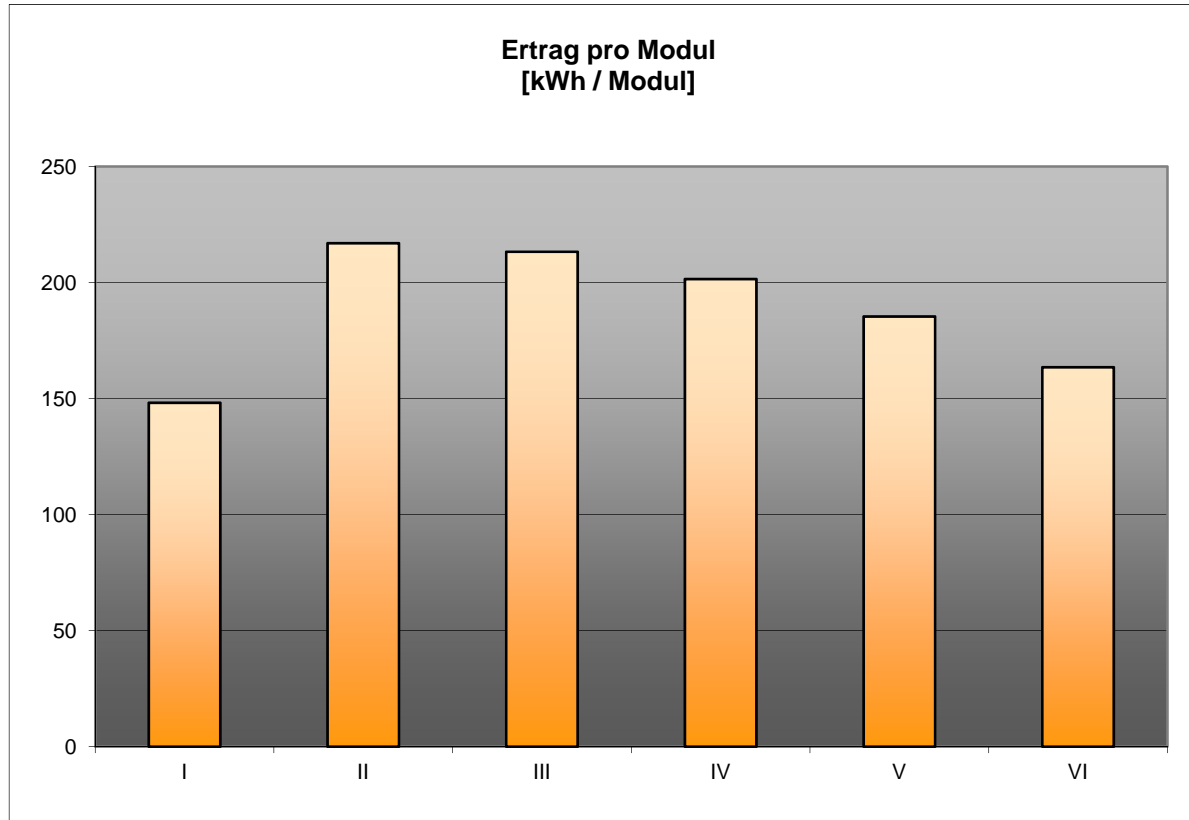


Abbildung 46: Aufstellung Ertrag pro Modul in kWh der unterschiedlichen Simulationsergebnisse

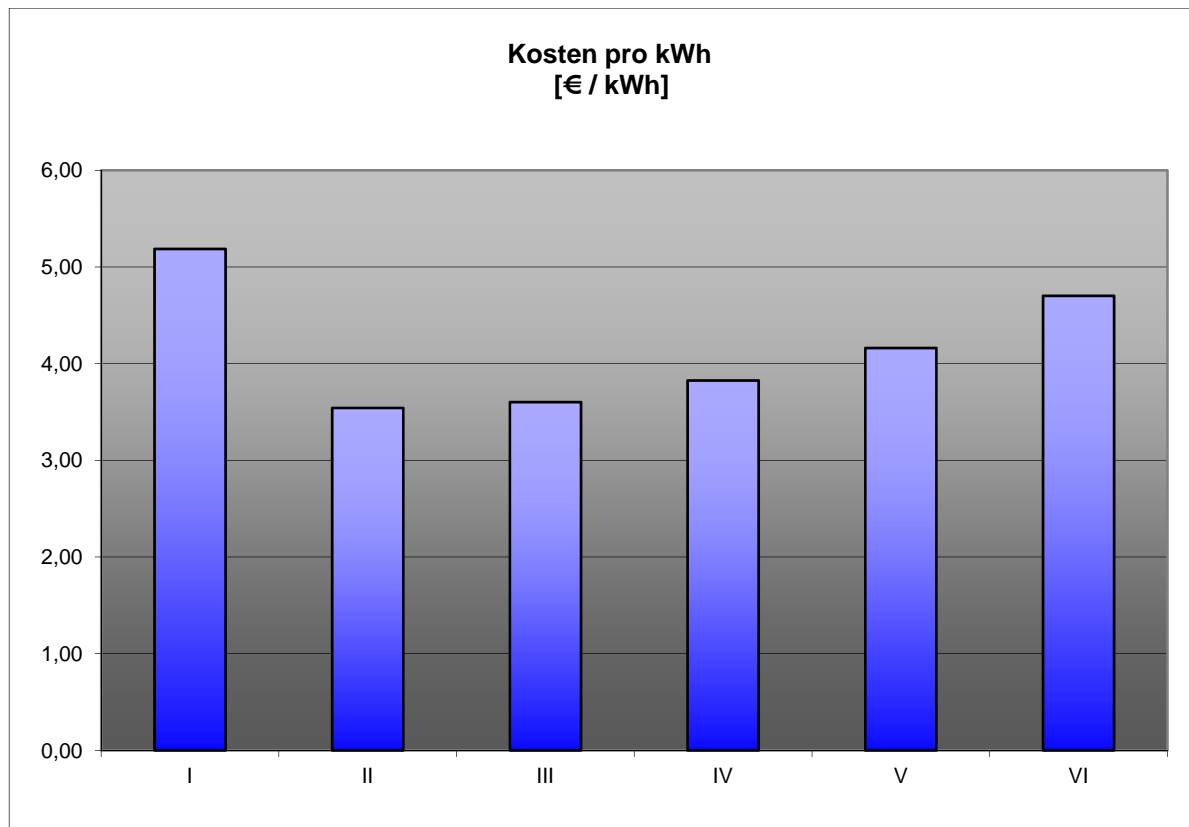


Abbildung 47: Aufstellung Kosten pro kWh der unterschiedlichen Simulationsergebnisse

Nach Auswertung der ermittelten Werte ist ersichtlich, dass ein optimaler Kosten-Nutzen Effekt bei einer PV-Modul Ausstellung II von 78° vorliegt. Der jährliche Ertrag beträgt ca. 217 kWh/Modul.

5.9.4 Unterschiedliche Ausstellung PV-Module Südseite Energieturm

Die Südseite kann bedingt durch Fenstereinbauten nicht vollständig mit PV-Modulen belegt werden. Im Gesamten stehen ca. 3000 m² nach SSO (16° ostwärts) geneigte Nutzfläche zur Verfügung. Analog zur Westseite wird wiederum das Optimum der PV-Modul Ausstellung ermittelt.

I: Südseite – 0°Ausstellung der PV – Module (voll vertikale Ausrichtung)

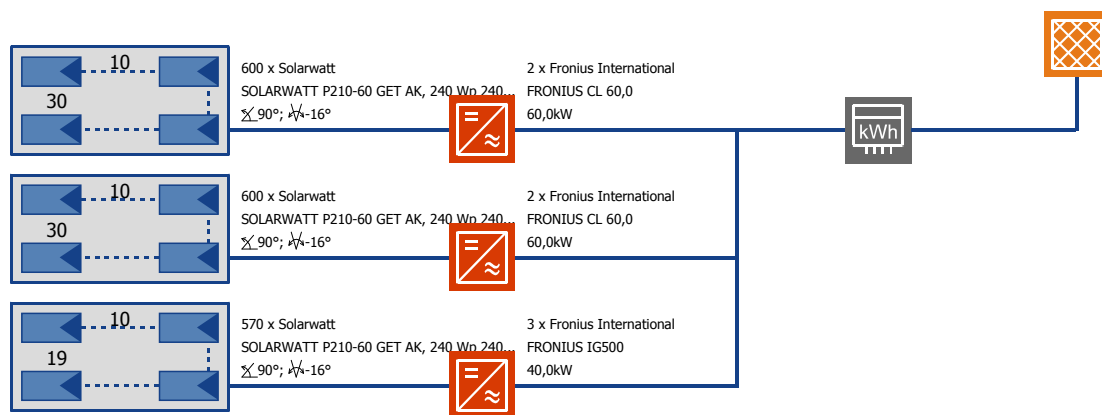


Abbildung 48: Systemschema Südseite Variante 0°Ausstellung der PV- Module

Standort:	Graz
Klimadatensatz:	Graz
PV-Leistung:	424,80 kWp
PV Brutto- / Bezugsfläche:	2.943,86 / 2.952,43 m ²
PV-Generatoreinstrahlung:	2.651.083 kWh
PV Generator erzeugte Energie:	328.117 kWh
PV Generator erzeugte Energie (wechselseitig):	305.341 kWh
Netzeinspeisung:	305.341 kWh
Systemnutzungsgrad:	11,50%
Anlagennutzungsgrad:	79,80%
Spezifischer Jahresertrag:	716,8 kWh/kWp
Vermiedene CO ₂ Emissionen:	269.769 kg/a

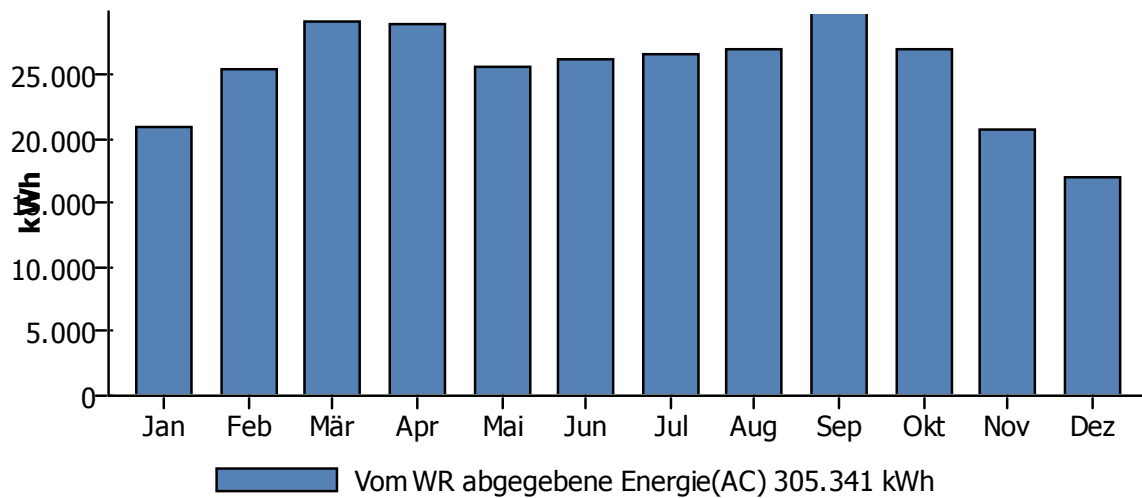


Abbildung 49: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Südseite Variante 0°Ausstellung der PV- Module

II: Südseite – 70°Ausstellung der PV – Module

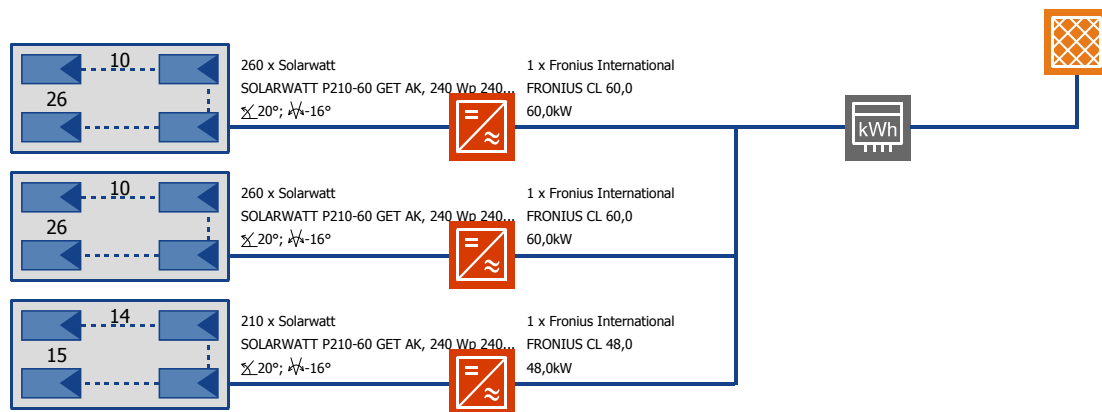


Abbildung 50: Systemschema Südseite Variante 70°Ausstellung der PV- Module

Standort:	Graz
Klimadatensatz:	Graz
PV-Leistung:	175,20 kWp
PV Brutto- / Bezugsfläche:	1.214,14 / 1.217,67 m ²
PV-Generatoreinstrahlung:	1.518.098 kWh
PV Generator erzeugte Energie:	187.938 kWh
PV Generator erzeugte Energie (wechselseitig):	177.392 kWh
Netzeinspeisung:	177.392 kWh
Systemnutzungsgrad:	11,70%
Anlagennutzungsgrad:	81,00%
spezifischer Jahresertrag:	1.010 kWh/kWp
Vermiedene CO ₂ Emissionen:	156.818 kg/a

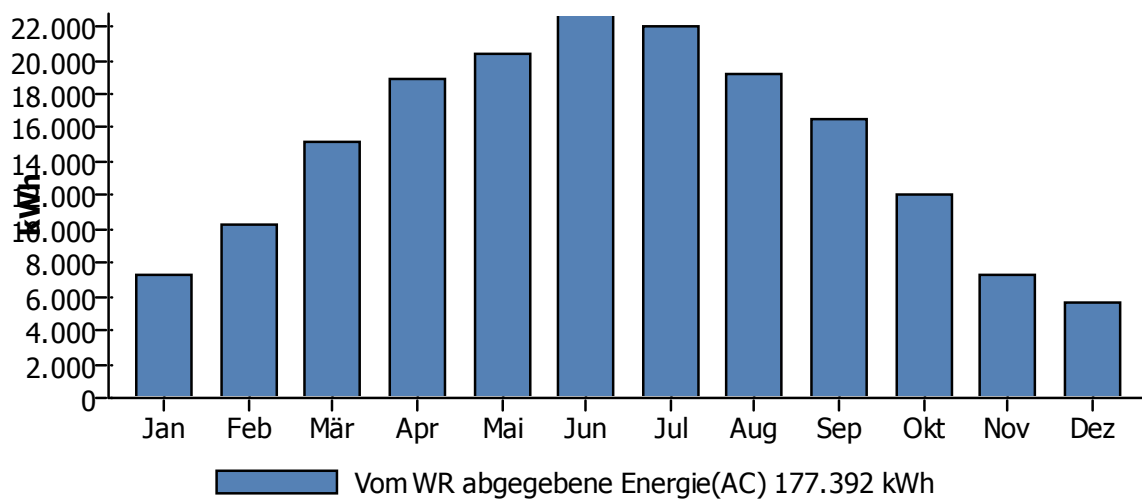


Abbildung 51: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Südseite Variante 70°Ausstellung der PV- Module

III: Südseite – 55° Ausstellung der PV – Module

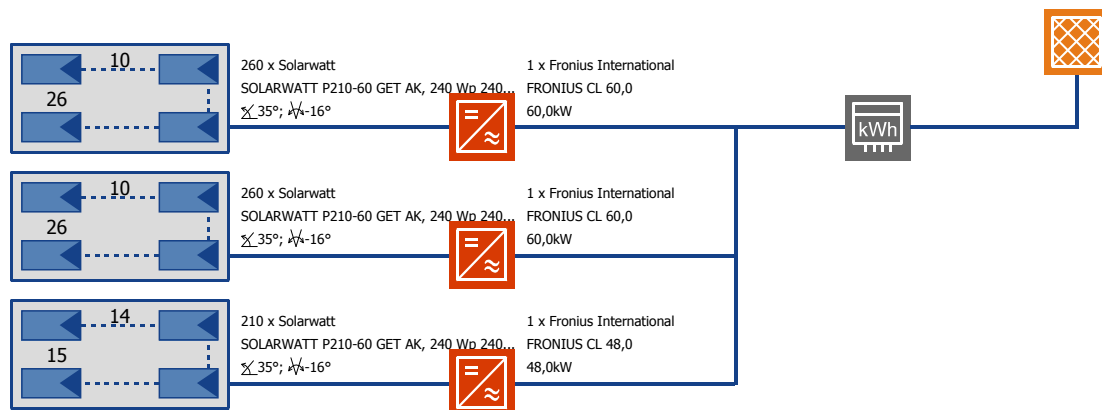


Abbildung 52: Systemschema Südseite Variante 55° Ausstellung der PV- Module

Standort:	Graz
Klimadatensatz:	Graz
PV-Leistung:	175,20 kWp
PV Brutto- / Bezugsfläche:	1.214,14 / 1.217,67 m ²
PV-Generatoreinstrahlung:	1.548.522 kWh
PV Generator erzeugte Energie:	193.118 kWh
PV Generator erzeugte Energie (wechselseitig):	182.087 kWh
Netzeinspeisung:	182.087 kWh
Systemnutzungsgrad:	11,70%
Anlagennutzungsgrad:	81,50%
spezifischer Jahresertrag:	1.037 kWh/kWp
Vermiedene CO ₂ Emissionen:	160.978 kg/a

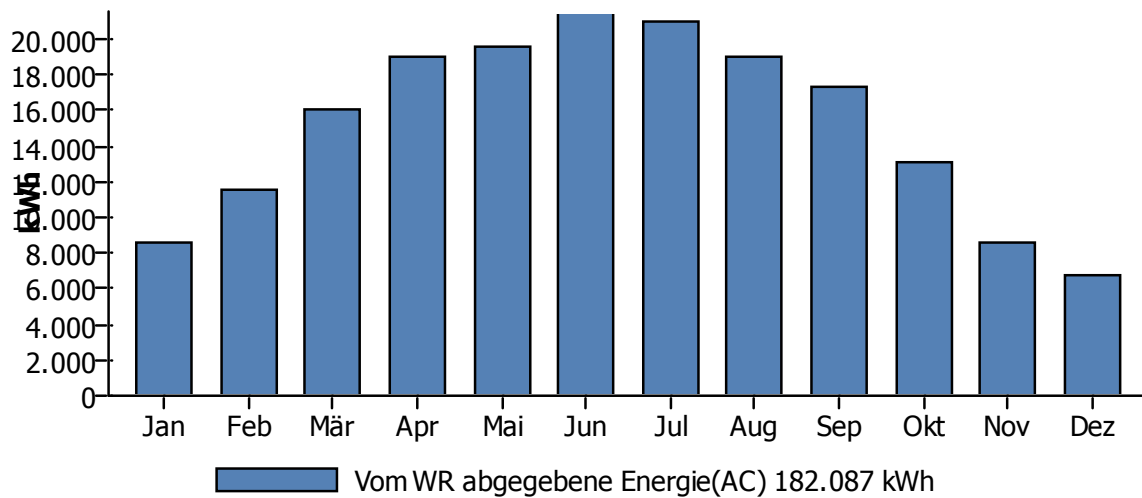


Abbildung 53: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Südseite Variante 55°Ausstellung der PV- Module

IV Westseite – 40°Ausstellung der PV – Module

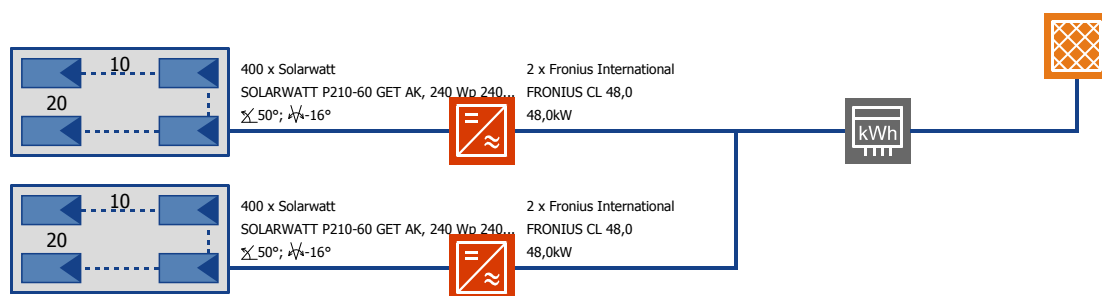


Abbildung 54: Systemschema Südseite Variante 40°Au sstellung der PV- Module

Standort:	Graz
Klimadatensatz:	Graz
PV-Leistung:	192,00 kWp
PV Brutto- / Bezugsfläche:	1.330,56 / 1334,43 m ²
PV Generator erzeugte Energie:	
PV-Generatoreinstrahlung:	1.653.845 kWh
PV Generator erzeugte Energie:	208.652 kWh
PV Generator erzeugte Energie (wechselseitig):	196.148 kWh
Netzeinspeisung:	196.148 kWh
Systemnutzungsgrad:	11,80%
Anlagennutzungsgrad:	82,20%
spezifischer Jahresertrag:	1.019 kWh/kWp
Vermiedene CO ₂ Emissionen:	173.351 kg/a

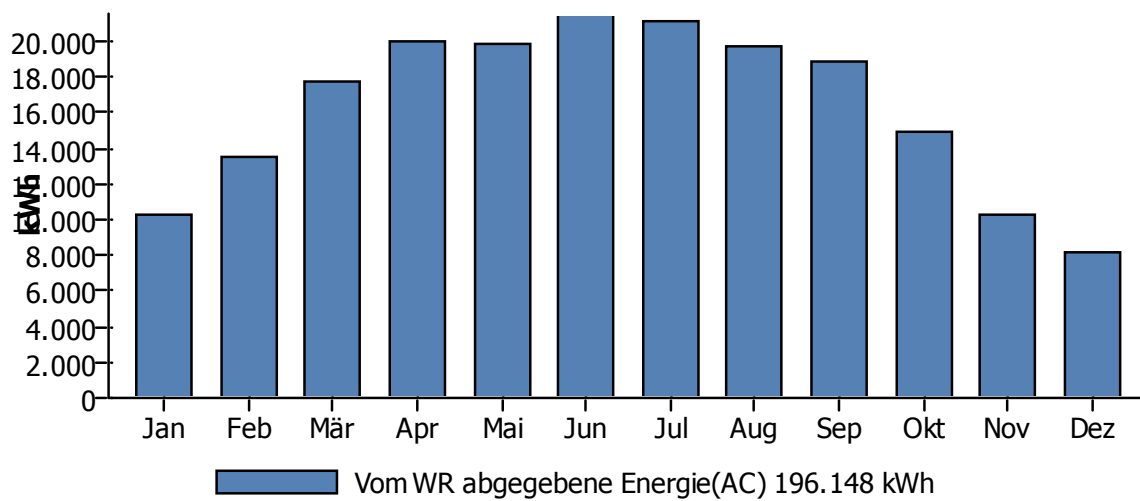


Abbildung 55: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Südseite Variante 40°Ausstellung der PV- Module

V Westseite – 25° Ausstellung der PV – Module

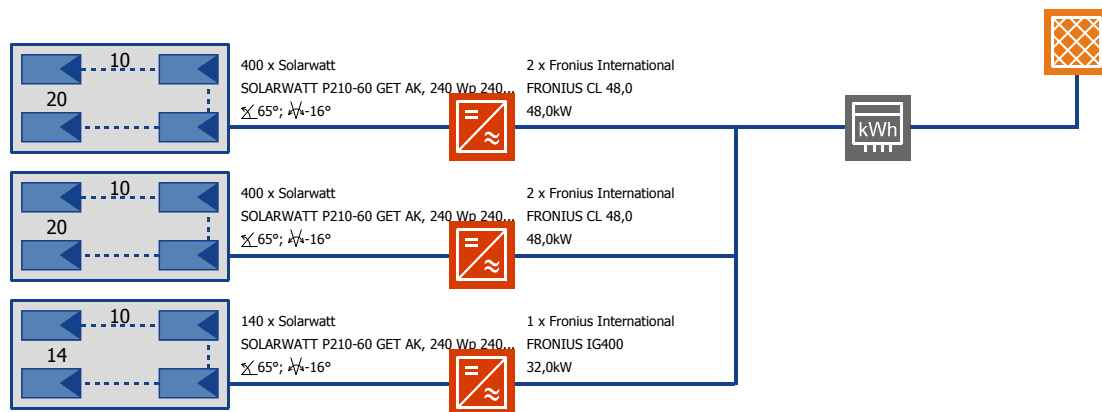


Abbildung 56: Systemschema Südseite Variante 25° Ausstellung der PV- Module

Standort:	Graz
Klimadatensatz:	Graz
PV-Leistung:	225,60 kWp
PV Brutto- / Bezugsfläche:	1.563,41 / 1.567,96 m²
PV-Generatoreinstrahlung:	1.802.441 kWh
PV Generator erzeugte Energie:	226.601 kWh
PV Generator erzeugte Energie (wechselseitig):	212.088 kWh
Netzeinspeisung:	212.088 kWh
Systemnutzungsgrad:	11,70%
Anlagennutzungsgrad:	81,60%
spezifischer Jahresertrag:	937,5 kWh/kWp
Vermiedene CO ₂ Emissionen:	187.394 kg/a

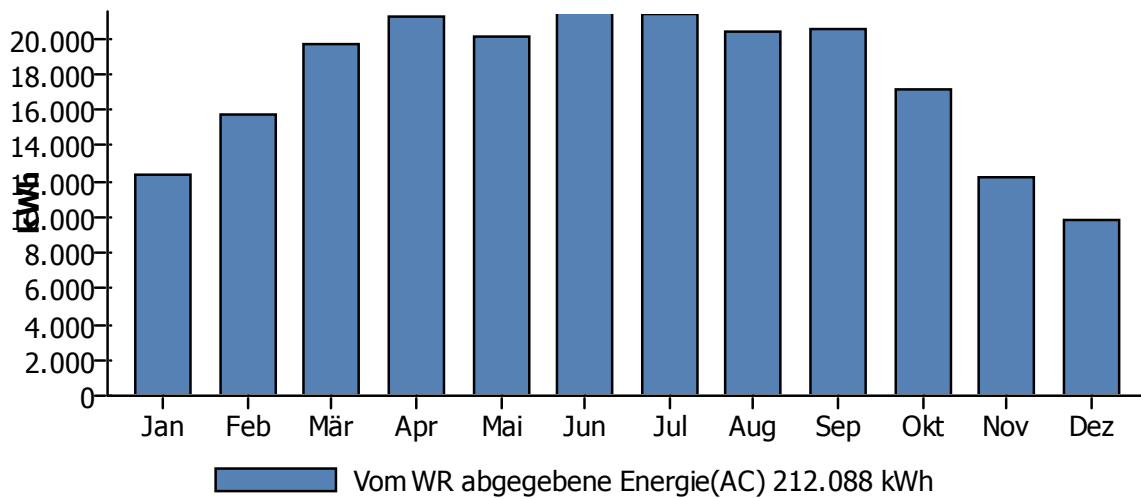


Abbildung 57: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Südseite Variante 25°Ausstellung der PV- Module

VI Westseite – 10°Ausstellung der PV – Module

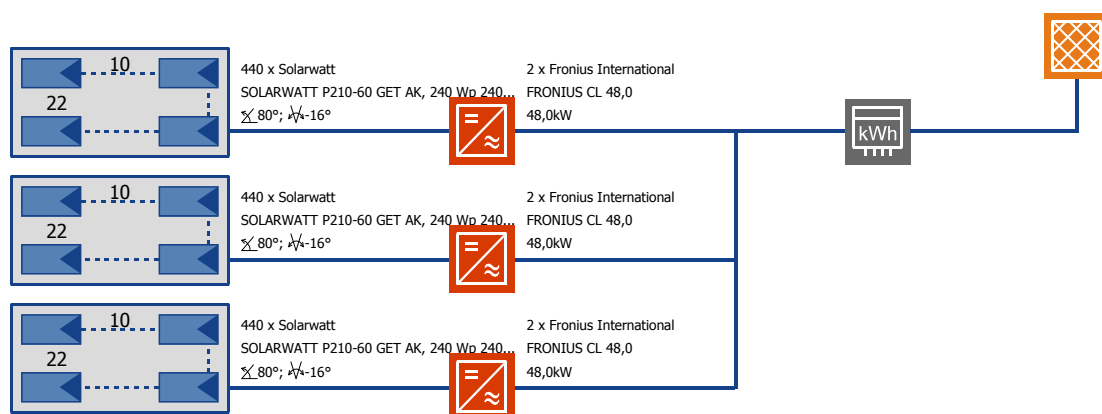


Abbildung 58: Systemschema Südseite Variante 10°Ausstellung der PV- Module

Standort:	Graz
Klimadatensatz:	Graz
PV-Leistung:	316,80 kWp
PV Brutto- / Bezugsfläche:	2.195,42 / 2.201,81 m²
PV-Generatoreinstrahlung:	2.228.201 kWh
PV Generator erzeugte Energie:	277.529 kWh
PV Generator erzeugte Energie (wechselseitig):	259.673 kWh
Netzeinspeisung:	259.673 kWh
Systemnutzungsgrad:	11,60%
Anlagennutzungsgrad:	80,60%
spezifischer Jahresertrag:	817,3 kWh/kWp
Vermiedene CO ₂ Emissionen:	229.415 kg/a

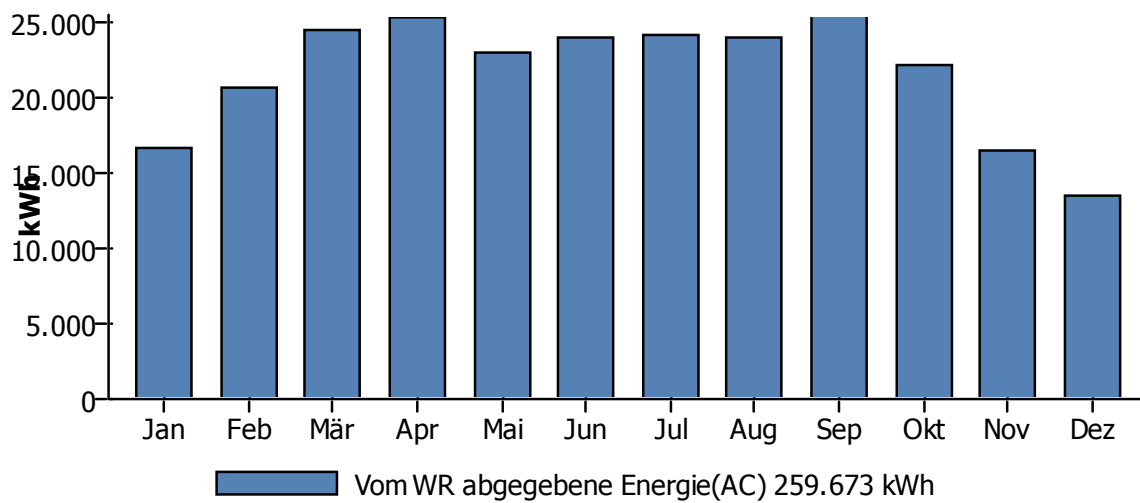


Abbildung 59: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Südseite Variante 10°Ausstellung der PV- Module

Energy City Graz Reininghaus - Energieturm

PV-Vergleich Südseite

Tabelle 14: Aufstellung der unterschiedlichen Simulationsergebnisse Südseite

Größe	Einheit	I	II	III	IV	V	VI
Neigung	°	0	70	55	40	25	10
Azimutabweichung	°	-16	-16	-16	-16	-16	-16
Module horizontal (Altbau)	-	40	40	40	40	40	40
Module vertikal (Altbau)	-	24	10	10	11	13	18
Module horizontal (Neubau)	-	30	30	30	30	30	30
Module vertikal (Neubau)	-	27	11	11	12	14	20
Modulanzahl	Stk.	1.770	730	730	800	940	1.320
Nominalleistung pro Modul	Wp	240	240	240	240	240	240
Installierte Leistung	kWp	424,80	175,20	175,20	192,00	225,60	316,80
Jahresertrag	kWh	305.341	177.392	182.087	196.148	212.088	259.673
Ertrag pro Modul	kWh	173	243	249	245	226	197

Quelle: Simulationen und Ertragsberechnungen wurden mit der Software PV*Sol der Firma Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH erstellt.

Tabelle 15: Investitionskosten und Kostenoptimum je geernteter Kilowattstunde

Größe	Einheit	I	II	III	IV	V	VI
Kosten	€	1.360.000	561.000	561.000	615.000	722.000	1.014.000
Kosten pro kWh	€/kWh	4,45	3,16	3,08	3,14	3,40	3,90

Quelle: Simulationen und Ertragsberechnungen wurden mit der Software PV*Sol der Firma Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH erstellt.

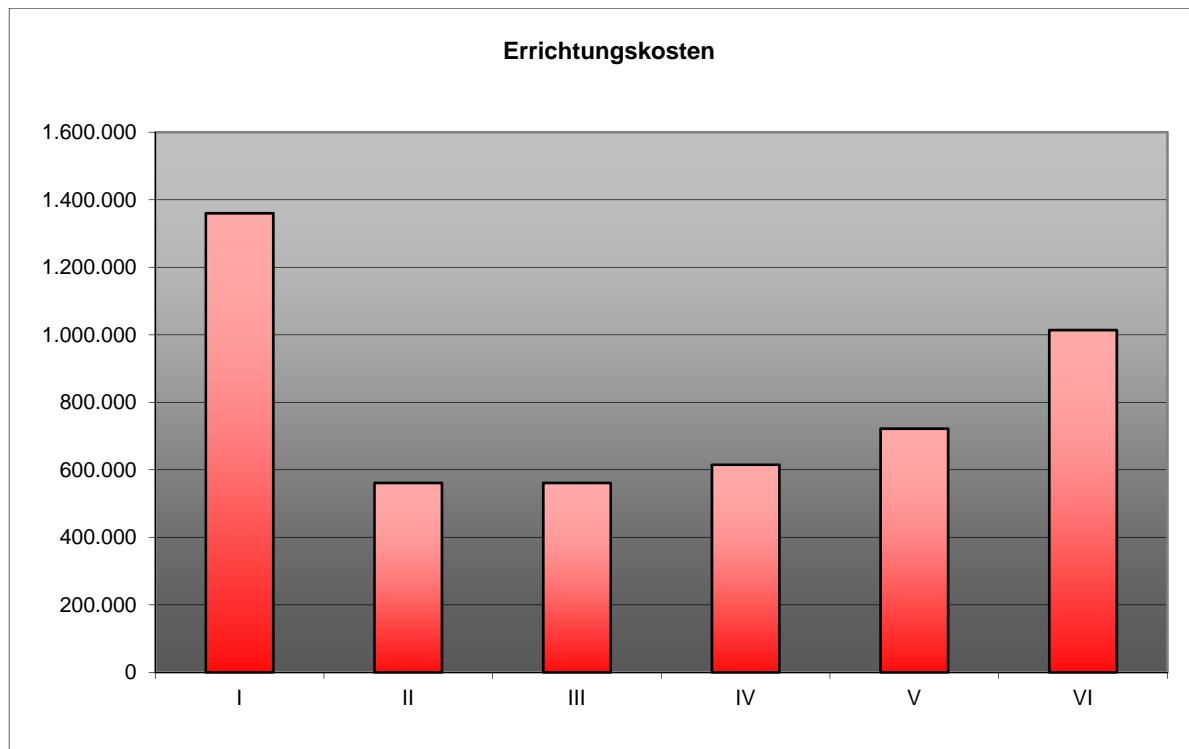


Abbildung 60: Aufstellung Errichtungskosten der für unterschiedlichen Simulationsergebnisse in Euro

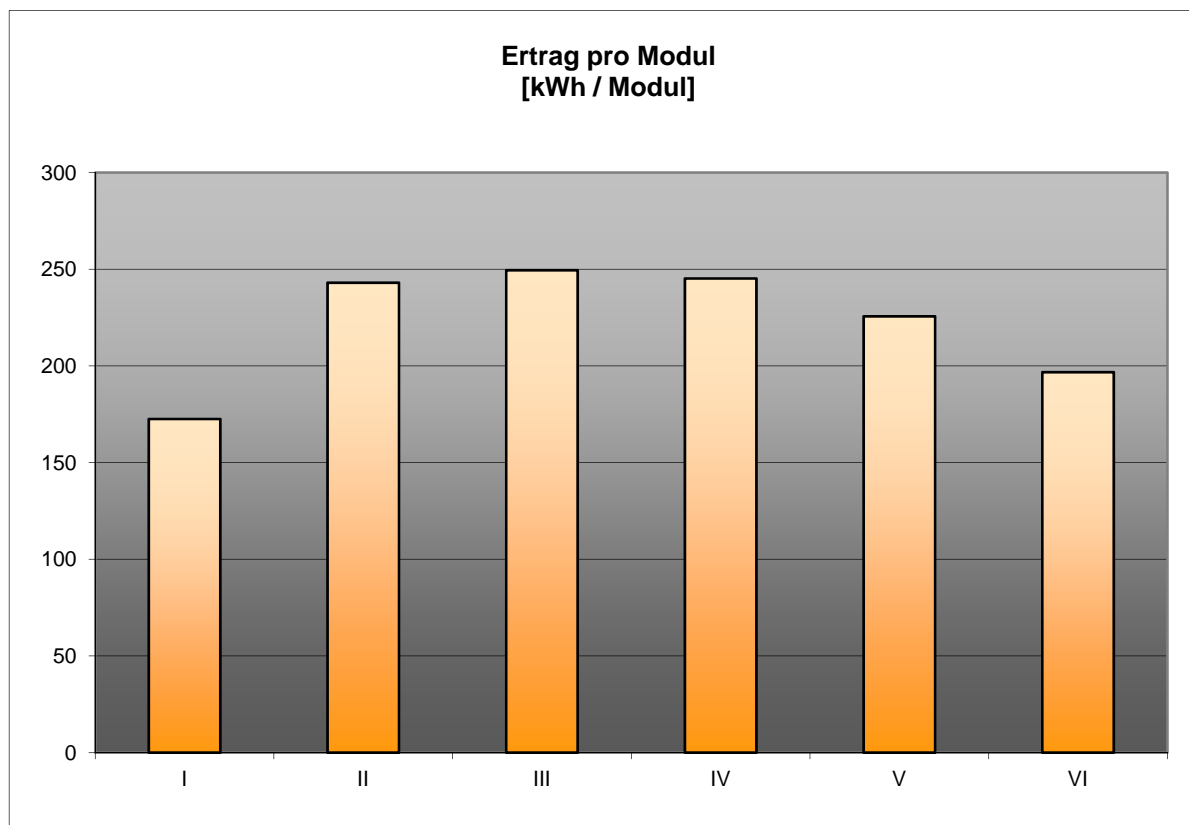


Abbildung 61: Aufstellung Ertrag pro Modul in kWh der unterschiedlichen Simulationsergebnisse

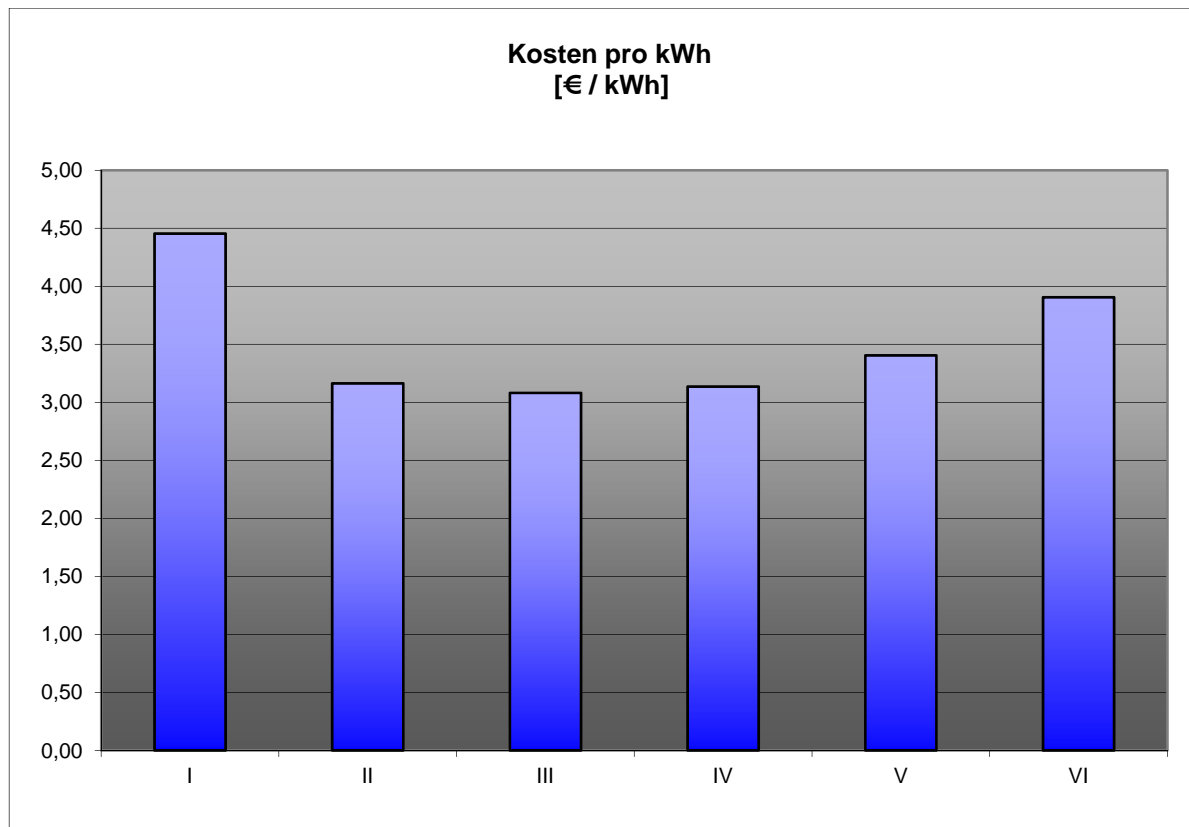


Abbildung 62: Aufstellung Kosten pro kWh der unterschiedlichen Simulationsergebnisse

Nach Auswertung der ermittelten Werte ist ersichtlich, dass ein optimaler Kosten-Nutzen Effekt bei einer PV-Modul Ausstellung III von 55° vorliegt. Der jährliche Ertrag beträgt ca. 249 kWh/Modul.

Aus der optimierten Generierung ergibt sich folgende Gesamt – Konfiguration:

Tabelle 16: Aufstellung des Simulationsergebnisses der Gesamtkonfiguration

Größe	Einheit	II	III	Gesamt
Neigung	°	78	55	
Azimutabweichung	°	74	-16	
Module horizontal (Altbau)	-	20	40	
Module vertikal (Altbau)	-	11	10	
Module horizontal (Neubau)	-		30	
Module vertikal (Neubau)	-		11	
Modulanzahl	Stk.	220	730	950
Nominalleistung pro Modul	Wp	240	240	240
Installierte Leistung	kWp	52,80	175,20	228
Jahresertrag	kWh	47.723	182.087	229.810
Ertrag pro Modul	kWh	217	249	242

Tabelle 17: Investitionskosten und Kostenoptimum Gesamt

Größe	Einheit	II	III	Gesamt
Kosten	€	169.000	561.000	730.000
Kosten pro kWh	€/kWh	3,54	3,08	3,18

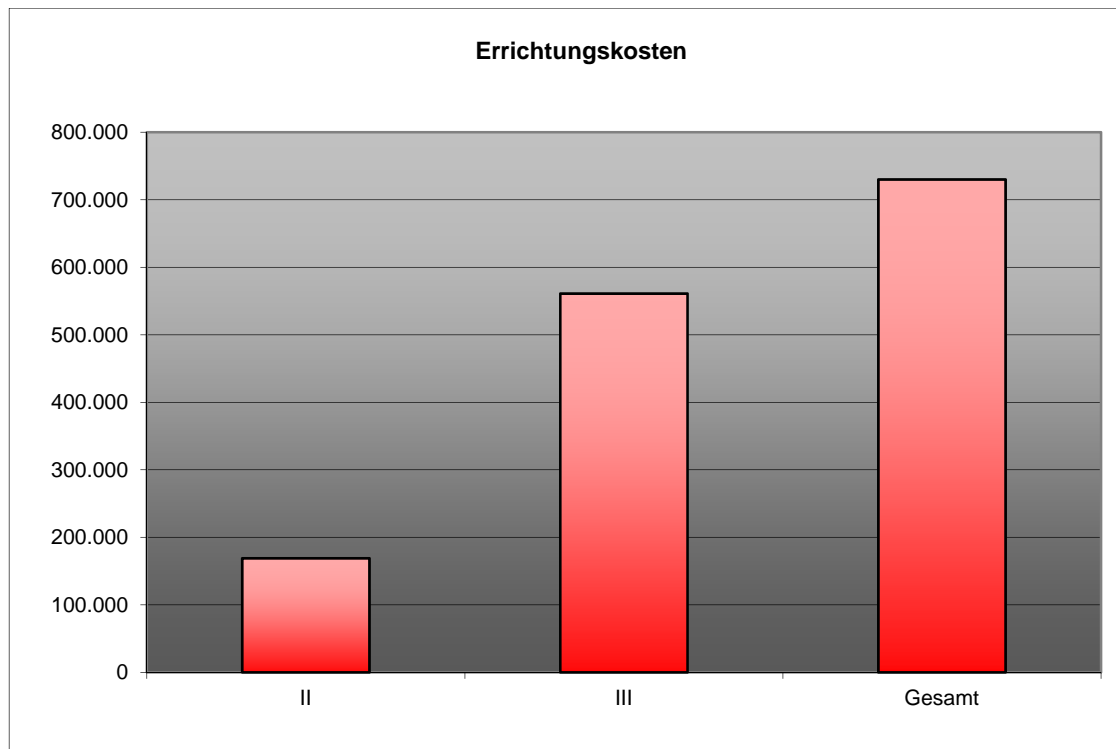


Abbildung 63: Aufstellung Errichtungskosten in Euro der optimierten Gesamtkonfiguration

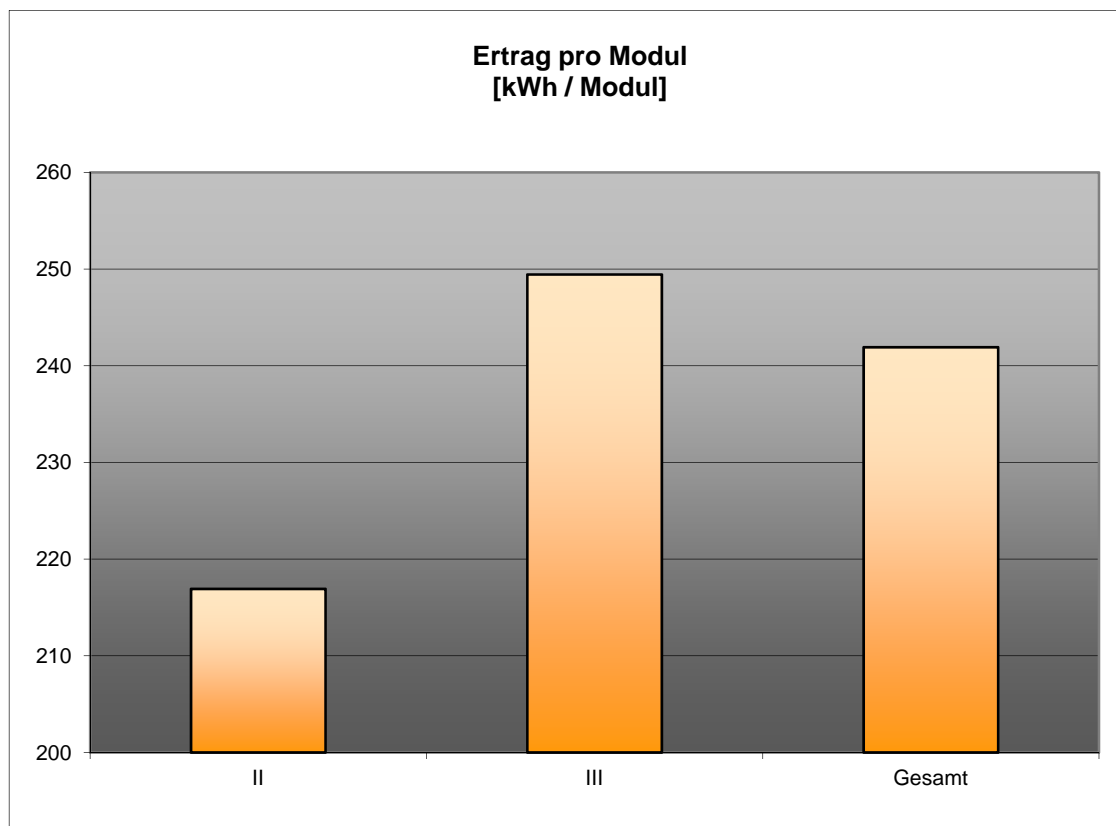


Abbildung 64: Aufstellung Ertrag pro Modul in kWh der optimierten Gesamtkonfiguration

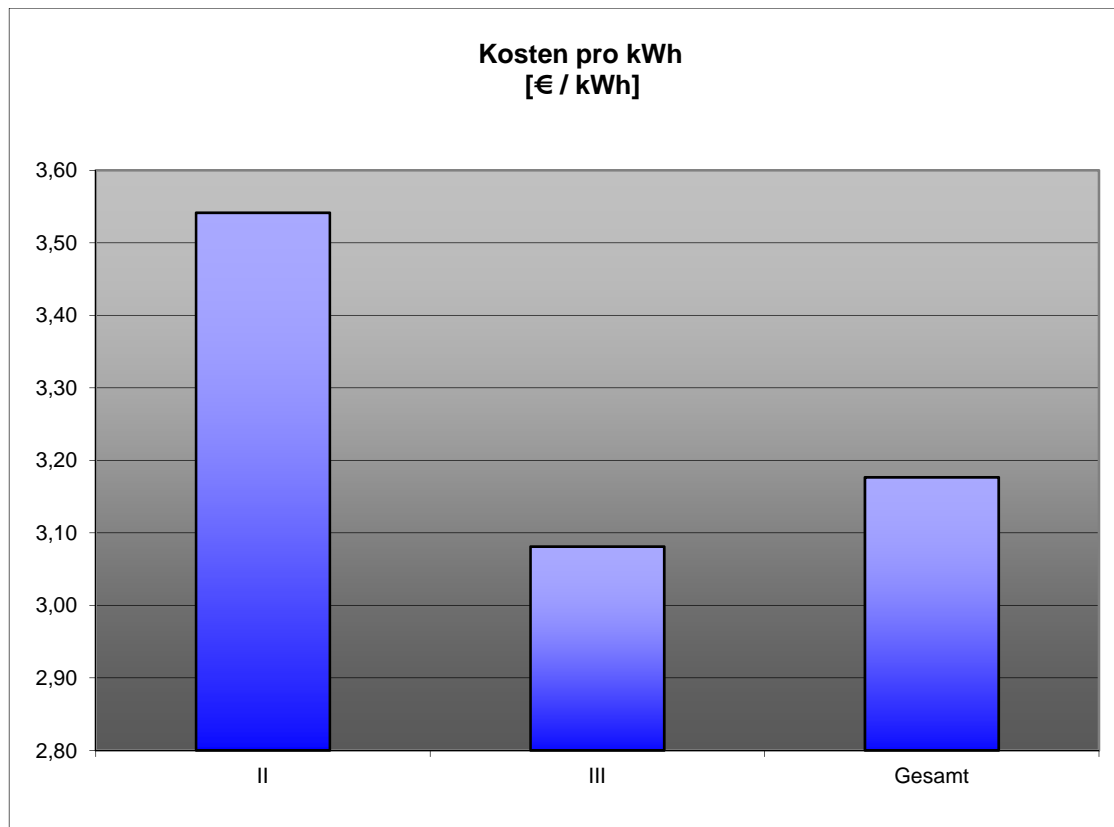


Abbildung 65: Aufstellung Kosten pro kWh der optimierten Gesamtkonfiguration

5.9.5 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Einspeiserückvergütung

Variante I:

Jährlicher PV-Ertrag = Jahresertrag * Einspeiserückvergütung

Jährlicher PV-Ertrag = 229.810 kWh * € 0,15 / kWh

Jährlicher PV-Ertrag = € 34.471.-

Bei der momentanen von der Energie Steiermark AG (das Gebiet der Reininghausgründe liegt nicht im Versorgungsgebiet der Energie Graz GmbH & Co KG) gewährten Einspeiserückvergütung von € 0,15 / kWh, gültig für zwei Jahre ohne weitere Förderung, ergibt sich ein jährlich finanzieller PV-Ertrag von ca. € 34.500.-

5.9.5.1 Amortisationsrechnung

Die statische Amortisationsrechnung welche auch als Kapitalwiedergewinnungsrechnung bekannt ist, legt als Investitionsentscheidungskriterium die Anzahl der Perioden zu Grunde, in der sich die Investition von selbst trägt. Es wird der Zeitpunkt errechnet, bei dem die Anschaffungsauszahlungen für eine Investitionsalternative durch sich anschließende Einzahlungsüberschüsse derselben ausgeglichen sind. Der benötigte Zeitraum, in dem es möglich ist, die Anschaffungsauszahlungen einer Anlage durch Einzahlungsüberschüsse wiederzugewinnen, wird auch als Amortisationszeitpunkt bezeichnet.⁴⁷

Die statistische Amortisationsrechnung geht nicht von Erträgen bzw. Kosten, sondern von Ein- und Auszahlungen innerhalb von Perioden aus. Die Verfahren zur Beurteilung der Amortisationszeit sind durch die Kumulationsmethode und Durchschnittsmethode bestimmt.

Bei Verfahren der Kumulationsmethode werden die Auszahlungen A_t und Einzahlungen E_t der Periode t sukzessiv (beginnend bei Periode 0 bei Anschaffungsauszahlung) addiert, bis die kumulativen Auszahlungen von den kumulativen Einzahlungen gedeckt werden.⁴⁸

Für die gesuchte Periode T_{AZ} (Amortisationszeitpunkt) gilt:

$$\sum_{t=0}^{T_{AZ}} A_t \leq \sum_{t=0}^{T_{AZ}} E_t$$

⁴⁷ vgl. Huch, Behme, Ohlendorf: Rechnungswesen orientiertes Controlling 4.Auflage – Heidelberg: Physica Verlag, 2004: Seite 116

⁴⁸ vgl. Huch, Behme, Ohlendorf: Rechnungswesen orientiertes Controlling 4.Auflage – Heidelberg: Physica Verlag, 2004: Seite 117

Ermittelt wird der minimale Amortisationszeitpunkt, der Zeitpunkt, zu dem die Summe der Einzahlungen erstmals die Summe der Auszahlungen übersteigt:

$$\text{Amortisationszeitpunkt} = \frac{\text{Anschaffungsauszahlungen}}{\sum_t \text{laufender Einzahlungsüberschuß pro Jahr } t}$$

$$\text{Amortisationszeitpunkt} = \frac{€ 730.000}{€ 34.500}$$

$$\text{Amortisationszeitpunkt} = 21,2 \text{ Jahre}$$

Bei einer zu tätigenen Investitionssumme von ca. € 730.000.- wird ein minimaler Amortisationszeitpunkt von 21 Jahren ermittelt.

Variante II:

Generation adaptierter Fördersätze von z.B. € 0,4 / kWh

Jährlicher PV-Ertrag = Jahresertrag * Einspeiserückvergütung

Jährlicher PV-Ertrag = 229.810 kWh * € 0,55 / kWh

Jährlicher PV-Ertrag = € 126.395.-

$$\text{Amortisationszeitpunkt} = \frac{€ 730.000}{€ 126.500}$$

$$\text{Amortisationszeitpunkt} = 5,7 \text{ Jahre}$$

Bei dieser Variante kann eine reine Investitionsamortisierung in weniger als 10 Jahren erfolgen, was den Förderrichtlinien der ÖMAG (Abwicklungsstelle für Ökostrom AG) entsprechen würde.

5.9.6 Ergebnis

Durch Umsetzung der Photovoltaikanlage am Energieturm in der Energy City Graz Reininghaus kann ein Beitrag zur Reduktion von CO₂ Emissionen im Umfang von 203.128 kg pro Jahr geleistet werden. Bei Annahme eines durchschnittlichen Stromverbrauchs für einen 3 Personenhaushalt von 5.000 kWh pro Jahr würden bei einem Gesamtertrag von 230.000 kWh ca. 45 Haushalte ein Jahr lang mit Energie versorgt werden können. Des Weiteren könnte die solare Ernte zum Betrieb von Elektrofahrzeugen verwendet werden, wodurch zusätzliche CO₂ Emissionen vermieden werden können. Der von Mitsubishi Motors angebotene i-MiEV fährt nach Beladung mit Strom aus erneuerbarer Energie fast vollständig CO₂ - emissionsfrei. Aus den Technischen Daten dieses Elektrofahrzeuges ist ersichtlich, dass bei vollständiger Ladung der Lithium-Ionen Batterie, mit einem Energieinhalt von 16 kWh eine Distanz von ca. 150 km zurückgelegt werden kann. Bei Annahme einer durchschnittlichen Fahrleistung von 10.000 km pro Jahr können somit ca. 215 Elektrofahrzeuge ein Jahr lang betrieben werden. Im Gesamten ist davon auszugehen, dass eine Aufteilung der vorhandenen Energie zu verschiedenen Nutzungszwecken erfolgen wird.

Durch die Nutzung der Energie im Bereich Elektromobilität, in Form von Elektrofahrzeugen und Elektrofahrrädern, wird ein Beitrag zur Vermeidung von CO₂ Emissionen sowie zur Erhöhung der Energieeffizienz im Verkehr, bei gleichzeitiger Minderung von Feinstaubemissionen geleistet.

6 Möglichkeiten der Nutzung von Wärme

6.1 Fernwärme in Graz

Die Wärme für Graz wird vorwiegend über den umweltfreundlichen und hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) Prozess aus den sich südlich von Graz befindlichen Kraftwerken Mellach und Werndorf, sowie über die Nutzung von industrieller Abwärme aus dem Stahl- und Walzwerk Marienhütte gewonnen. Zusätzlich wird Wärme in den thermosolaren Großanlagen am Station Graz-Liebenau und am Gelände des Wasserwerk Graz-Andritz erzeugt.

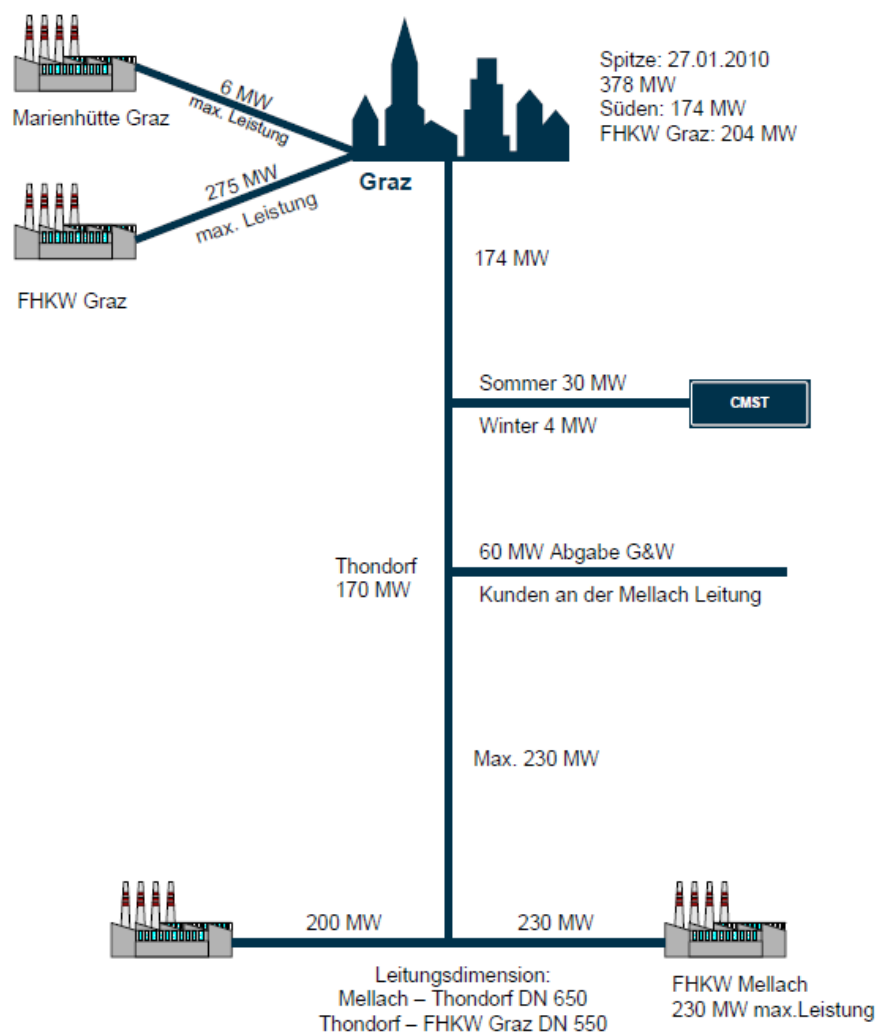


Abbildung 66: Prinzipschema Wärmeaufbringung Energie Graz

Quelle: Energie Graz, Eigendarstellung

Tabelle 18: Wärmearufbringung Energie Graz 2009 und 2010 in GWh nach Erzeugern und deren prozentuelle Veränderung

Wärmearufbringung - Energie Graz			
	2009	2010	Veränderung
	GWh	GWh	in %
Steirische Gas Wärme	841,4	929,7	10,5
Marienhütte	39,8	45,7	14,8
Solar Liebenau / WW Andritz	1,2	1,6	36,2
Summe Aufbringung	882,4	977,0	10,7

Quelle: Energie Graz, Geschäftsbericht 2010

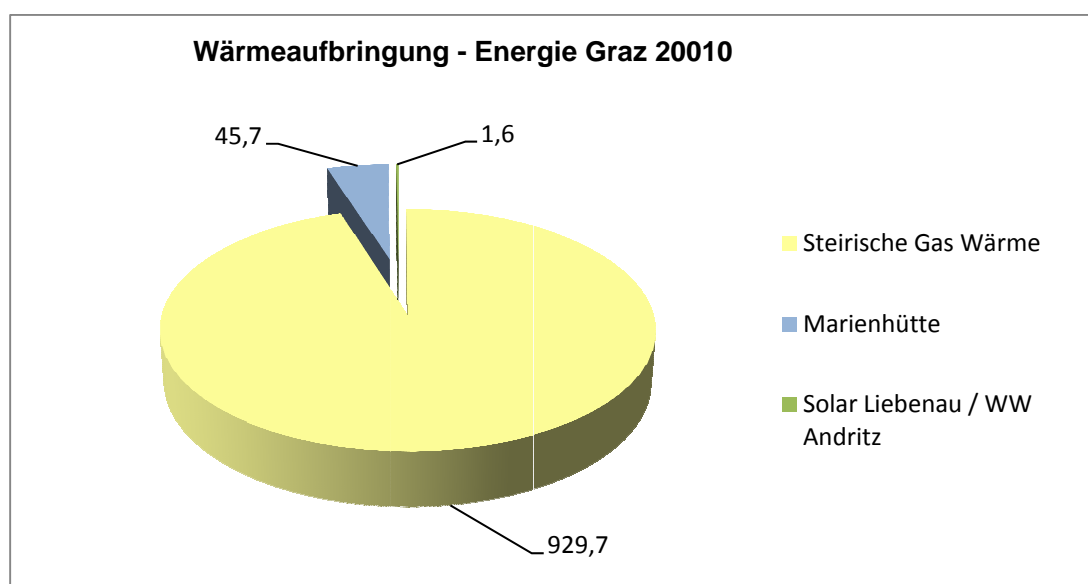


Abbildung 67: Wärmearufbringung Energie Graz 2010 in GWh nach Erzeugern

Die Aufbringung von Fernwärme kann auf die nutzbare Kilowattstunde (KWh) bezogen, mit geringen Primärenergieeinsatz und damit verbundenen geringen CO₂ Emissionen erfolgen. Zur Realisierung einer zukünftigen energieeffizienten und schadstoffarmen Erzeugung von Wärme bietet sich somit für die Stadt Graz Fernwärme aus dem Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) Prozess, industrieller Abwärme und thermischer Solarenergie an.

6.2 Kraft-Wärme-Kopplung

6.2.1 Definition

„Kraftwärmekopplungsanlagen“ (KWK-Anlagen), sind laut Definition „Kraft-Wärme-Gesetz“ Anlagen zur Erzeugung von elektrischer Energie, in denen aus Primärenergieträgern gleichzeitig elektrische Energie und Nutzwärme erzeugt wird.⁴⁹

Ziel dieses Bundesgesetzes ist es, durch die Unterstützung von bestehenden KWK-Anlagen zur öffentlichen Fernwärmeversorgung, deren weiteren Betrieb sicherzustellen und deren Modernisierung zu fördern.⁵⁰

Als KWK-Energie ist elektrische Energie, die unmittelbar und effizienzmaximiert als Koppelprodukt bei der Erzeugung von Nutzwärme hergestellt wird definiert.⁵¹

Die in KWK-Anlagen bei der Stromerzeugung anfallende Wärme wird nicht wie bei konventionellen Kraftwerken an die Umgebung abgegeben, sondern als Nutzwärme für Heizzwecke oder zur weiteren Stromerzeugung verwertet. Durch die gemeinsame Nutzung der elektrischen Energie und der Wärme lassen sich Gesamtwirkungsgrade des eingesetzten Brennstoffs von 80-90% erzielen. Gegenüber einer getrennten Erzeugung von Wärme und Strom führt dies zu einer Primärenergieeinsparung und CO₂-Emissionsreduktion.

Der Vorteil von KWK-Anlagen besteht in der systematischen Nutzung der im Brennstoff enthaltenen Exergie, dem Teil der Gesamtenergie eines Systems oder Stoffstroms der Arbeit verrichten kann, wenn es in das thermodynamische Gleichgewicht (thermisch, mechanisch und chemisch) mit seiner Umgebung gebracht wird. Einerseits wird der Exergieabbau für Auskoppelung von Kraft/Strom genutzt, andererseits wird die entstehende Umwandlungsabwärme bei der Stromerzeugung auf einem genügend hohen Nutztemperaturniveau ausgekoppelt.⁵²

⁴⁹ vgl. Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz §5 , Absatz 2

⁵⁰ vgl. Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz §3

⁵¹ vgl. Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz §5 , Absatz 3

⁵² vgl. G. Schaumann, K. W. Schmitz: Kraft-Wärme-Kopplung 4. Auflage – Heidelberg: Springer Verlag, 2010: Seite 6

Bewertungskennzahlen von KWK-Anlagen sind der elektrische Wirkungsgrad η_{el} , der energetische Gesamtwirkungsgrad η_{ges} , der exergetische Wirkungsgrad und die Stromkennzahl.

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{Q_{BS}} \quad \eta_{ex} = \frac{P_{el} + E_H}{E_{BS}} \quad \eta_{ges} = \frac{P_{el}}{Q_{BS} + Q_H}$$

$$Q_{BS} = m_{BS} \cdot H_i \quad \sigma = \frac{P_{el}}{Q_H}$$

P_{el} elektrische Leistung

Q_{BS} Brennstoffenergiestrom

σ Stromkennzahl

Q_H Heizwärmestrom

E_{BS} Brennstofexergie

E_H Heizwärmeexergie

m_{BS} Brennstoffmassenstrom

H_i Heizwert

Der elektrische Wirkungsgrad η_{el} erfasst gegenüber dem thermischen Wirkungsgrad η_{th} , der nur den thermodynamischen Kreisprozess bewertet, den gesamten Umwandlungsprozess z.B. mit Dampferzeuger oder Generator. Der Gesamtwirkungsgrad bewertet die Energieströme unabhängig ihrer Qualität. Beide Wirkungsgrade sind als Bruttowirkungsgrade zu bezeichnen, da sie die gesamten erzeugten Energien berücksichtigen. Durch Subtraktion des elektrischen Eigenbedarfs werden die Nettowirkungsgrade ermittelt.

Die Qualität der Heizwärme wird durch den exergetischen Wirkungsgrad η_{ex} beschrieben. Eine hohe Stromkennzahl σ ist bei gleichzeitig hohem Gesamtwirkungsgrad ein Kennzeichen für eine gute Lösung in Bezug auf die Brennstoffexergieausnutzung.⁵³

6.2.2 Aufteilung der CO₂ Emission auf die Koppelprodukte Strom und Wärme

Bei Aufteilung der durch den Betrieb einer KWK-Anlage verursachten CO₂ Emission auf die im gleichen Zeitraum erzeugte elektrische Arbeit W_{el} und Nutzwärme Q ist die Bilanzgleichung zu erfüllen:

$$C_{\text{KWK}} = c_{\text{el,KWK}} W_{\text{el}} + c_{\text{th,KWK}} Q$$

Durch $C_{\text{el, KWK}}$ werden die CO₂ Emission in kg/kWh elektrischer Arbeit und mit $C_{\text{th, KWK}}$ die CO₂ Emission in kg/kWh Nutzwärme abgebildet.

⁵³ vgl. Wolfgang Schufft, Taschenbuch der elektronischen Energietechnik – München: Hanser Verlag, 2007: Seite 60

6.2.3 Primärenergieeinsparung Kraftwerk Mellach

Am Beispiel des Kraftwerks (KW) Mellach wird der Vorteil einer Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) hinsichtlich des verringerten Primärenergieeinsatzes bei der Bereitstellung von Fernwärme aufgezeigt. Die elektrische Nennleistung im KW Mellach ist ohne Wärmeauskopplung mit 226 MW_{el} bestimmt. Die Wärmeauskopplung von derzeit max. 230 MW_{th} hat eine Reduzierung der elektrischen Nennleistung auf 176 MW_{el} zur Folge. Zum Preis der sich ergebenden elektrischen Minderleistung von 50 MW_{el} können somit 230 MW_{th} Fernwärme bereitgestellt werden.

Die spezifische Minderleistung beträgt somit:

$$\text{Spezifische Minderleistung} = \frac{50 \text{ MW}}{230 \text{ MW}} = 0,22$$

Eine elektrische Wärmepumpe müsste um eine Gleichwertigkeit mit der Fernwärme hinsichtlich des Primärenergieeinsatzes erreichen zu können mit einem Faktor von 4,6 als Leistungsziffer arbeiten.

$$\text{Leistungsziffer} = \frac{230 \text{ MW}}{50 \text{ MW}} = 4,6$$

Betrachtet man nun eine „Ersatzproduktion“ der elektrischen Minderleistung von 50 MW am Beispiel eines kalorischen Kraftwerks mit einem Wirkungsgrad von 40%, benötigt man dafür einen Primärenergieeinsatz von 125 MW.

$$\text{Primärenergieeinsatz} = \frac{50}{0,4} = 125$$

Die spezifische Primärenergiebelastung der ausgekoppelten Fernwärme beträgt

$$\text{Spezifische Primärenergiebelastung} = \frac{125 \text{ MW}}{230 \text{ MW}} = 0,54$$

Somit werden zur Aufbringung einer kWh Fernwärme im KW Mellach 0,54 kWh Primärenergie aufgewendet.

Aus dem sich derzeit im Bau befindlichen Gas-Dampfkraftwerk Mellach, welches ab Anfang 2012 ans Netz gehen wird, könnten zukünftig 250 MW_{th} Fernwärme bezogen werden. Bei reiner Stromproduktion und einem Wirkungsgrad von 58% im Kondensationsbetrieb liegt die elektrische Nennleistung bei 936 MW_{el}. Eine zukünftige Wärmeauskopplung von max. 250 MW_{th} hat eine Reduzierung der elektrischen Nennleistung auf 890 MW_{el} zur Folge. Die elektrische Minderleistung beträgt somit 46 MW.

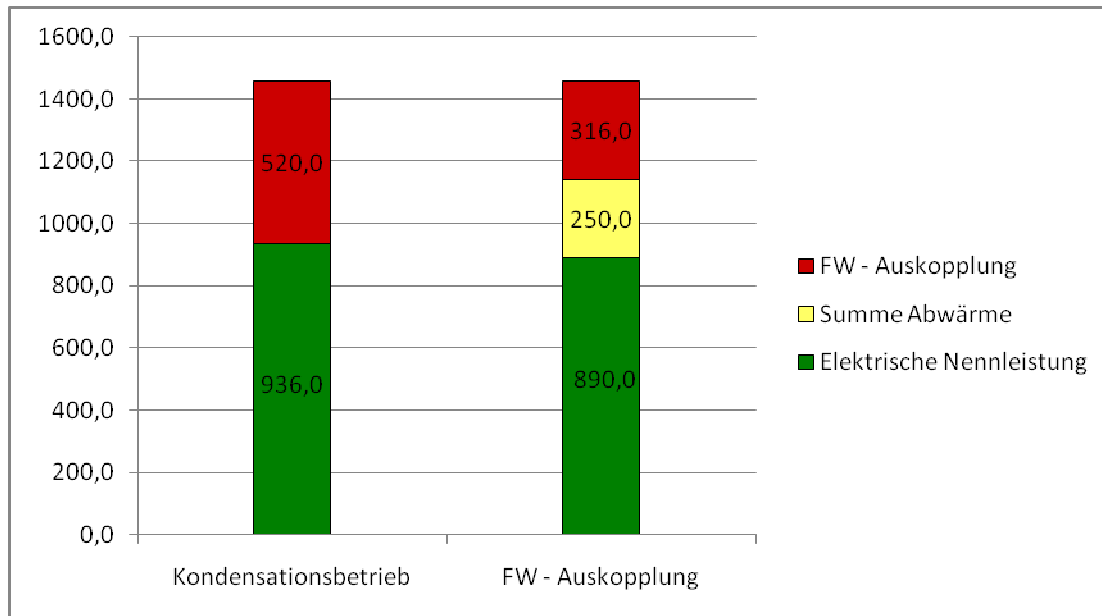


Abbildung 68: Gegenüberstellung der Betriebsweisen GDK Mellach mit und ohne Fernwärmeauskopplung

Betrachtet man nun eine „Ersatzproduktion“ der elektrischen Minderleistung von 46 MW am Beispiel eines kalorischen Kraftwerks mit einem Wirkungsgrad von 40% benötigt man dafür einen Primärenergieeinsatz von 115 MW.

$$\text{Primärenergieeinsatz} = \frac{46}{0,4} = 115 \text{ MW}$$

Betrachtet man nun eine „Ersatzproduktion“ der elektrischen Minderleistung von 46 MW am Beispiel eines kalorischen Kraftwerks mit einem Wirkungsgrad von 58% benötigt man dafür einen Primärenergieeinsatz von 79 MW.

$$\text{Primärenergieeinsatz} = \frac{46}{0,58} = 79 \text{ MW}$$

Die spezifische Primärenergiebelastung der ausgekoppelten Fernwärme beträgt somit bei einem Wirkungsgrad von 40% in Variante I:

$$\text{Spezifische Primärenergiebelastung} = \frac{115 \text{ MW}}{250 \text{ MW}} = 0,46$$

und bei einem angenommenen Wirkungsgrad von 58% in Variante II:

$$\text{Spezifische Primärenergiebelastung} = \frac{79 \text{ MW}}{250 \text{ MW}} = 0,32$$

Zur Aufbringung einer kWh Fernwärme im Gas-Dampfkraftwerk werden somit je nach Betrachtungsweise 0,46 kWh bzw. 0,32 kWh Primärenergie aufgewendet.

6.3 Abwärmenutzung in der Industrie

In der Industrie wird für verschiedenste Produktionsprozesse Prozesswärme benötigt. Beispiele hierfür sind die Erzeugung von Dampf, die Erwärmung von Materialien sowie thermische Trennprozesse. Bei diesen Prozessen entsteht Abwärme, indem von Abwärmequellen wie Produktionsmaschinen oder -anlagen, Verlustwärme an die Umgebung abgegeben und von diesen selbst nicht genutzt wird. Wärme aus KWK-Anlagen kann deshalb nicht als Abwärme definiert werden, da es sich um ein Zielprodukt des Prozesses zur weiteren Verwendung handelt.

Die Abwärmemenge ist definiert durch:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

wobei „m“ die Masse des wärmetragenden Mediums, „c“ die spezifische Wärmekapazität des Mediums und „ΔT“ die Temperaturdifferenz des Abwärmestroms gegenüber der Umgebungstemperatur, z. B. der Raumtemperatur ist.⁵⁴

⁵⁴ Vgl. Alfred Böge, Jürgen Eichler: Physik – Grundlagen, Versuche, Aufgaben, Lösungen 10.Auflage - Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2005: Seite 85

Die entstehende Abwärmemenge ist durch die Höhe des Massenstroms und der Höhe der Temperaturdifferenz variabel. Je höher der Massenstrom und die Temperaturdifferenz, desto höher die Abwärmemenge.

Der Prozesswärmebedarf der einzelnen Produktionsprozesse liegt auf sehr unterschiedlichen Temperaturniveaus. Während bei diversen Reinigungsprozessen niedrige Temperaturen von etwa 60 °C benötigt werden, sind es bei Prozessen der Produktion von Roheisen und der Stahlerzeugung weit über 1000 °C. Auf Basis der Temperaturniveaus können Rückschlüsse über die abfallende Abwärme bzw. deren möglichen Verwendungszweck getroffen werden. Die einzelnen Anwendungsmöglichkeiten reichen von der Nutzung von Niedertemperaturabwärme (unter 50 °C) mittels Wärmepumpe bis zur Umwandlung von Niedertemperaturabwärme (50 - 250°C) in elektrische Energie mittels OCR-Prozess.

Die Energie Graz hat in den letzten Jahren im Bereich des neu zu entwickelnden Stadtteils Graz-Reininghaus massiv in Infrastruktur für Wärmeversorgung investiert. In diesem Gebiet befindet sich das Stahl- und Walzwerk Marienhütte. Im Rahmen dieser Arbeit werden daher zwei weitere Möglichkeiten zur Nutzung industrieller Abwärme aufgezeigt und ausführlich behandelt. Die Nutzung industrieller Abwärme aus Prozessen der Stahlindustrie, zur Wärmeversorgung durch Einspeisung ins Fern- bzw. Nahwärmenetz der Energie Graz bzw. die Möglichkeit der Nutzung von Abwärme zum Betrieb von Kälteanlagen.

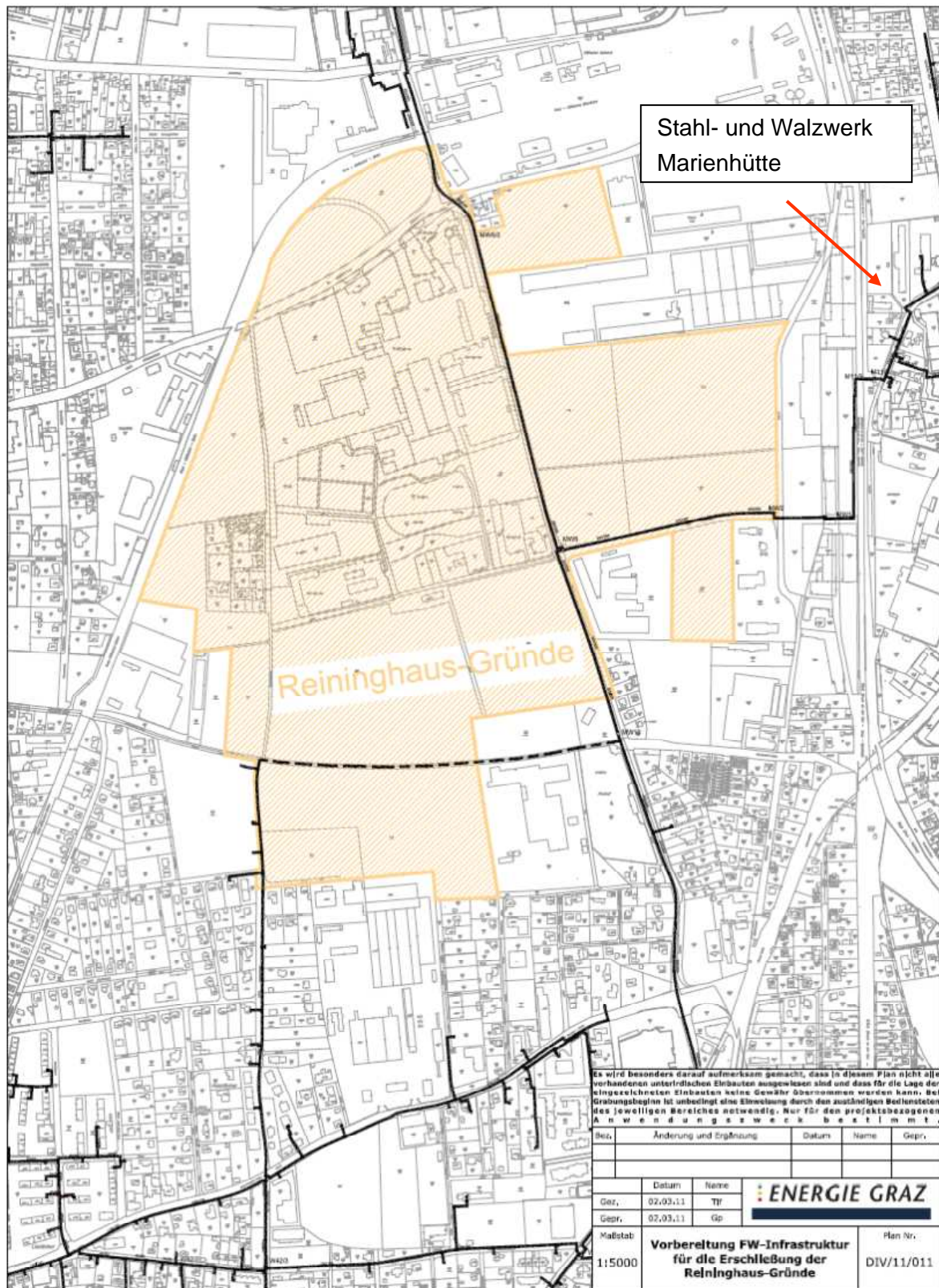


Abbildung 69: Fernwärme - Übersichtsplan Reininghausgründe

Quelle: Energie Graz, Eigendarstellung

6.3.1 Stahl- und Walzwerk Marienhütte

Zur teilweisen Versorgung der Grazer mit Fernwärme nutzt die Energie Graz wie in Abschnitt 6.1 bereits beschrieben, auch industrielle Abwärme aus dem Stahl- und Walzwerk Marienhütte. Anfänglich konnten mit dem Anlagenbestand aufgrund der diskontinuierlichen Betriebsweise und der damit verbundenen starken Schwankungen im Wärmeangebot regelmäßig auftretende Wärmespitzen nicht für das Fernwärmenetz genutzt werden und mussten über Kühleinrichtungen an die Umgebung abgegeben werden. Durch Errichtung eines Wärmespeichers zum Puffern dieser Angebotsspitzen wurde eine Vergleichmäßigung des Wärmeangebotes erreicht, womit die Abwärmenutzung bzw. Wärmeauskopplung ins Fernwärmenetz erhöht werden konnte.

6.3.1.1 Prozessbeschreibung Wärmeauskopplung

Im Stahl- und Walzwerk Marienhütte werden Anlagen zur Herstellung von Betonstahl, Stabstahl und Stahlknüppeln aus Stahlschrott betrieben. Dazu wird Stahlschrott in einem Elektroschmelzofen aufgeschmolzen, in Stranggußanlagen vergossen und in weiteren Arbeitsschritten zu Fertigprodukten weiterverarbeitet. Der dominierte Abwärmelieferant in diesem Prozess ist der Elektroschmelzofen.

Über zwei Kühlkreisläufe, den Heißwasserkreislauf I und II (HWKL I u. II) werden temperaturbelastete Anlagenteile mit Wasser gekühlt. Die Wärmeauskopplung erfolgt über zwei Wärmetauscher mit einer gemeinsamen Netzpumpengruppe,

- Auskopplung aus dem HWKL I über WT2
- Auskopplung aus dem HWKL II über WT4 (GF WT)

wobei 85-90 % der gesamten Wärmeauskopplung über den Heizwasserkreislauf II erfolgen.

Der HWKL II wird wahlweise mit einer oder zwei Kreislaufpumpen gespeist, wobei sich bei einer Pumpe ca. 800 m³/h und bei zwei Pumpen in etwa 1400 m³/h an Kreislaufmengen einstellen. Die Pumpen fördern das Kühlwasser zu einer Serie von parallel geschalteten Verbrauchern wobei die wichtigsten Wärmelieferanten durch die 4. Decklochabsaugung, die Nachbrennkammer und den Krümmer der Nachbrennkammer definiert sind.

Das Kühlwasser wird nach der Wärmeaufnahme in den Einzelverbrauchern gesammelt und in zwei Schritten, durch Wärmeauskopplung ins Fernwärmenetz der Energie Graz und durch Rückkühlung über Luftkühler, rückgekühlt.

In Abb. 71 ist eine Schwankungsbreite von ca. 13° C, welche vor Einbau des Ladespeichers aufgetreten ist, erkennbar. Die Schwankungsbreite ist von den Rücklaufbedingungen und den Chargenzyklus abhängig.

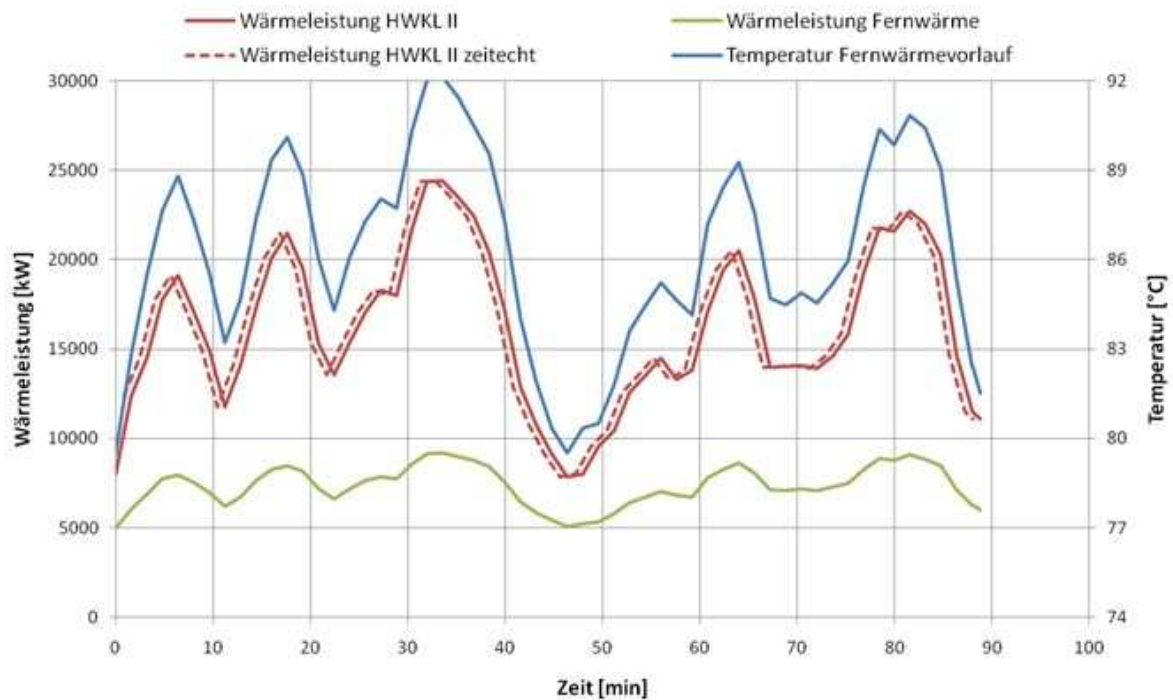


Abbildung 71: Temperatur und Leistungsschwankungen von zwei Chargenzyklen

Quelle: Energie Graz, Eigendarstellung

6.3.1.2 Theoretischer Ansatz

Liefermenge = Wärmeleistung * Zeit

Liefermenge = Rücklaufmenge * c * (Vorlauftemperatur – Rücklauftemperatur) * Zeit

Eine Steigerung der Wärmemenge wäre entweder durch die Erhöhung der Temperaturdifferenz Vorlauf / Rücklauf oder durch die Erhöhung der Rücklaufmenge möglich. Eine Vergleichmäßigung der Vorlauftemperatur auf hohem Niveau würde einer Erhöhung der mittleren Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf entsprechen.

Durch den Einsatz eines Schichtladespeichers wird das Vorlaufwasser mit schwankender Temperatur nicht direkt ins Fernwärmenetz geliefert sondern strömt in die entsprechende

Temperaturzone des Schichtspeichers ein. Gleichzeitig wird der Fernwärmeverlauf nur aus der obersten, wärmsten Speicherschicht entnommen, der Rücklauf mischt sich mit der unteren, kältesten Schicht und wird zur Wärmequelle (WT 4) weitergeleitet. Daraus folgt für den Wärmespeicher weniger die Aufgabe Wärme über längere Zeiträume zwischen zu speichern, eine Charge dauert in etwa nur 45 Minuten, als vielmehr als Regelungsorgan zu fungieren und das ungleichmäßige Temperaturprofil innerhalb einer Produktionscharge auszugleichen. Darüber hinaus kann der Speicher Unterschiede im Wärmeangebot zwischen den Chargen bzw. kurzfristige Betriebsunterbrechungen überbrücken.

Bei dem eingesetzten Schichtspeicher mit scharfem Temperaturübergang wird die scharfe Temperaturgrenze durch Regelung der Ladetemperatur auf einen konstanten Sollwert erreicht. Damit erübrigt sich die heikle Verteilungsaufgabe des Ladewassers auf die passenden Temperaturzonen im Speicher. Der Speicher ist unempfindlicher auf Strömungsbedingungen der eintretenden Ströme weil diese mit entsprechender Distanz zur Temperaturübergangszone in den Speicher eintreten. Die Temperaturgrenzzone verändert dabei ihre vertikale Lage entsprechend der Differenz der Verbraucher- bzw. erzeugerseitigen Mengenströme.

Diese Form der Speicher wird auch als Pufferweiche bezeichnet nachdem sie nach dem Prinzip einer hydraulischen Weiche funktionieren.

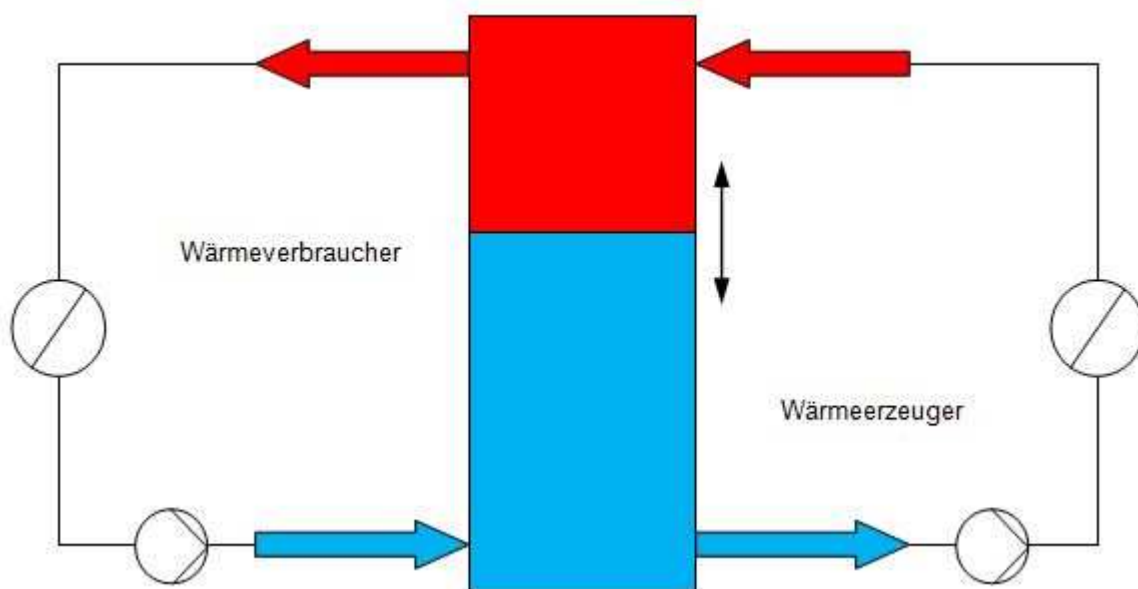


Abbildung 72: Funktionsweise Pufferweiche

Quelle: Energie Graz, Eigendarstellung

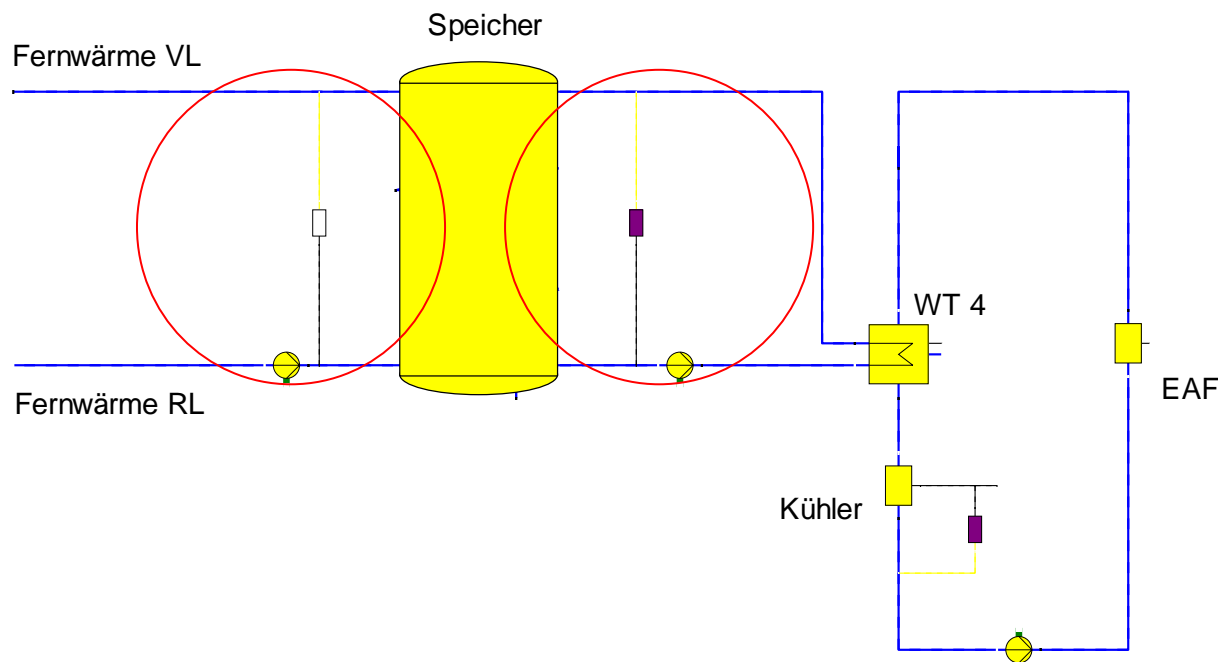


Abbildung 73: Schemadarstellung direkte Speichereinbindung auf Sekundärseite des Wärmetauschers

Quelle: Energie Graz, Eigendarstellung

Durch die direkte Speichereinbindung ist der Speicherbehälter parallel zum Fernwärmewärmetauscher WT4 geschaltet und stellt damit eine hydraulische Verbindung zwischen Fernwärmever- und Rücklauf her. Durch diesen hydraulischen Kurzschluss ist es möglich unterschiedliche Durchsätze auf Fernwärme- und Wärmetauscherseite einzustellen und damit den Speicherfüllstand oder/und die Ladetemperatur (=Austritt aus WT4) zu beeinflussen. Durch Regelung der Ladetemperatur stellen sich im Speicher zwei Temperaturzonen mit der mehr oder weniger scharf ausgebildeten Trennzone ein.

Das minimal erforderliche Speichervolumen ergibt sich dabei aus der Forderung sämtliche Volumenänderungen, die aufgrund unterschiedlicher Kreislaufströme entstehen und sich in einer vertikalen Verschiebung der Temperaturtrennschicht im Speicher äußern, aufnehmen zu können. Speichervolumen und Regelung sind dann gut dimensioniert, wenn am Ende jeder Charge der Speicherfüllgrad (= Lage der Temperaturgrenzschrift) jenem am Beginn der Charge entspricht.

Durch örtliche Platzeinschränkungen ist der zylindrische Speicher mit einem maximal verfügbaren Speichervolumen von 67m^3 dimensioniert. Wie in Abb. 31 ersichtlich wird dadurch eine substantielle Verbesserung des Temperaturprofils erreicht. Auftretende Restschwankungen können dadurch im Bereich von 3 bis 5°C gehalten werden.

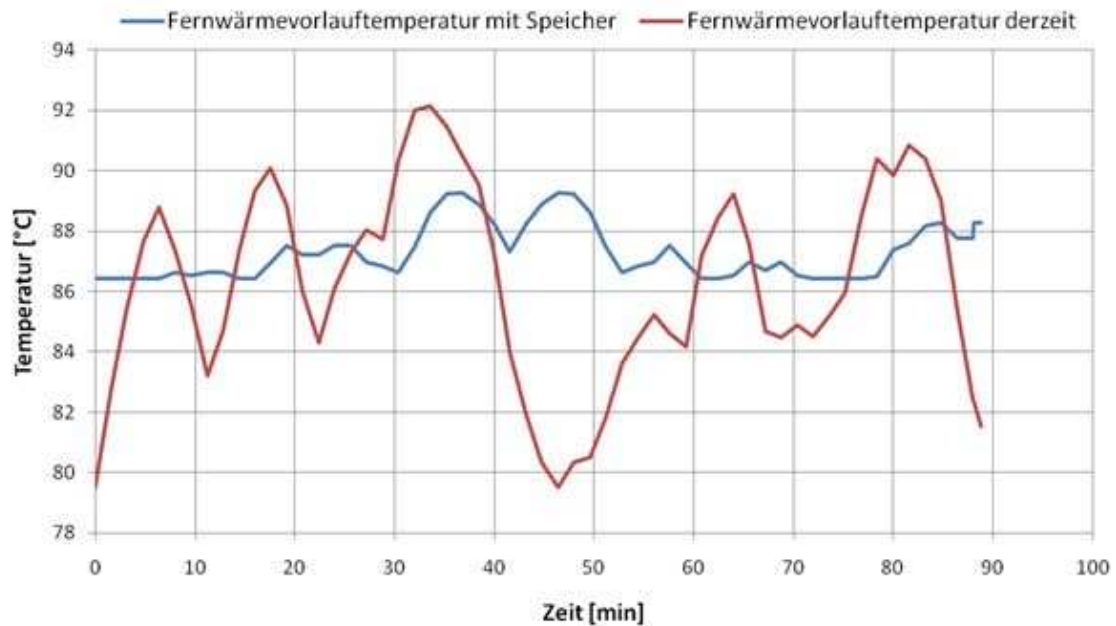


Abbildung 74: Gegenüberstellung Fernwärmeverlauftemperaturen mit und ohne Speicher

Quelle: Energie Graz, Eigendarstellung

6.4 Kühlenergie

Es ist davon auszugehen, dass der Bedarf an Kühlenergie in Europa in den nächsten Jahren sowohl in Privat- als auch in Bürogebäuden stetig steigen wird. Derzeit wird die benötigte Kühlenergie Großteils mit strombetriebenen Kompressionskältemaschinen, welche in der Kälteerzeugung sehr effizient sind, bereitgestellt. Bedingt durch steigende Verbräuche muss aber vermehrt zusätzlich Strom in kalorischen Kraftwerken erzeugt werden, was wiederum zu einem höheren Verbrauch an fossilen Brennstoffen und einer damit verbunden höheren Emissionsbelastung führt. Im Rahmen der Entwicklung des neuen Stadtteils Graz-Reininghaus wird die Möglichkeit einer umweltfreundlichen, innovativen Klimatisierung evaluiert. In den warmen Sommermonaten steht der Energie Graz ein Angebot an bislang nicht genutzter Wärme zur Verfügung. Im Wesentlichen kann industrielle Abwärme aus dem unmittelbar an das neu zu entwickelnde Gebiet angrenzende Stahl- und Walzwerk Marienhütte, zum Betrieb von Sorptionskältemaschinen verwendet werden. Die Erzeugung von Kälte aus reiner Abwärme führt zu einem vier- bis zehnfachen geringeren Verbrauch an fossilen Brennstoffen und deutlich weniger Emissionen, gegenüber konventionellen strombetriebenen Kompressionskältemaschinen.

6.4.1 Fernkälte

Grundsätzlich werden zwei Varianten zur Bereitstellung von Kühlenergie unterschieden. Dem Abnehmer wird wie gewohnt Fernwärme zur Verfügung gestellt, diese wird direkt vor Ort in Kälte umgewandelt. Dem gegenüber steht das Prinzip Kältelieferant, bei welchem die Kälte am Wärmeentstehungsort erzeugt wird. Wasser wird auf niedriges Temperaturniveau, ca. 6 °C abgekühlt und über isolierte Rohrleitungen zu den Abnehmern transportiert. Nach der Einspeisung in ein Klimasystem kann die Klimatisierung von Räumlichkeiten über ein Rohrsystem erfolgen. Mit einer Rücklauftemperatur von 12 – 16°C fließt das Wasser wieder zurück, wo es in der Kältezentrale erneut abgekühlt wird.

Durch die Nutzung der bereits durch die Energie Graz geschaffenen Infrastruktur in Form des Fernwärmesystems im Bereich des neu zu entwickelnden Stadtteils Graz-Reininghaus und des Stahl- und Walzwerk Marienhütte kann über das Abnehmerprinzip zukünftig eine innovative, ökologische und zukunftsorientierte Versorgung mit Kühlenergie erfolgen. Aus diesem Grund wird auf das Prinzip Kältelieferung nicht näher eingegangen.

6.4.2 Absorptionskältemaschinen

Die Anwendung der Absorptionskältetechnik ist aus energieeffizienten Gründen für den neu zu entwickelten Stadtteil Graz-Reininghaus von besonderer Bedeutung. Der Betrieb kann über die Nutzung der industriellen Abwärme des Stahl- und Walzwerks Marienhütte erfolgen, wodurch die Bereitstellung von Kälte praktisch ohne Einsatz von Primärenergie möglich ist.

Unter Absorption versteht man die Aufnahme von Gasen und Dämpfen in Flüssigkeiten durch physikalische Lösung oder chemische Reaktion.⁵⁵

Die Fähigkeit einer Flüssigkeit, ein Gas zu absorbieren, ist von Temperatur und Druck abhängig. Die Desorption stellt denn Umkehrvorgang der Absorption dar.

6.4.2.1 Funktionsweise Absorptionskältemaschine

Die Effektivität einer Absorptionskältemaschine wird durch das Wärmeverhältnis

$$\zeta_{AKM} = \frac{\text{Kälteleistung}}{\text{zugeführte Wärmemenge}} = \frac{Q_0}{Q_H + Q_P}$$

beschrieben.

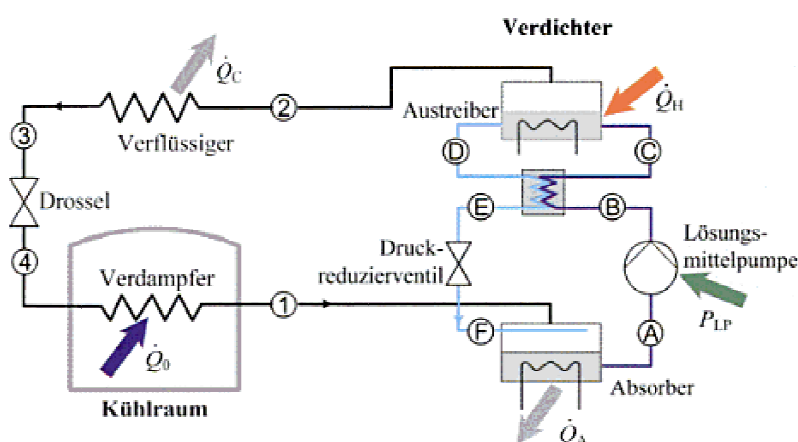
Die Größe Q_0 beschreibt die Kälteleistung des Verdampfers, Q_H ist die dem Kocher zugeführte Heizwärme. Q_P ist das Wärmeäquivalent der Pumpenarbeit, welche aber meistens zu vernachlässigen ist, weil es nur 1% der Heizwärme beträgt.

Der Absorptionsprozess beruht darauf, dass der Kältemitteldampfdruck bei Zweistoffgemischen gegebener Temperatur mit zunehmender Konzentration des Lösungsmittels abnimmt. Für den Betrieb von Absorptionskältemaschinen haben sich als Kältemittel bislang zwei Stoffpaarungen durchsetzen können.

⁵⁵ vgl. M. Felleisen: Prozeßleittechnik für die Verfahrenstechnik – München: Oldenburg Industrieverlag GmbH, 2001: Seite 169

Bei Kältetemperaturen von über 0°C wird Wasser als Kältemittel und eine wässrige Lithiumbromidlösung als Lösungsmittel eingesetzt. Sind Kältetemperaturen unter 0°C , hauptsächlich in Industrieanlagen erforderlich, kommt Ammoniak als Kälte- und Wasser als Lösungsmittel zum Einsatz.⁵⁶

Der Prozess läuft dabei entsprechend den Dampfdruckkurven der eingesetzten Kältemittel ab. Die Nutzkälte wird bei der Verdampfung eines Kältemittels, durch Wärmezufuhr an das Kältemittel erzeugt. Die wesentliche Antriebsenergie erfolgt durch Wärmezufuhr. Im Lösungsmittelkreislauf, in welchem die Verdichtung des Kältemittels erfolgt, ist eine elektrisch betriebene Pumpe für das dann in flüssiger Form vorliegende Lösungsmittel erforderlich.⁵⁷



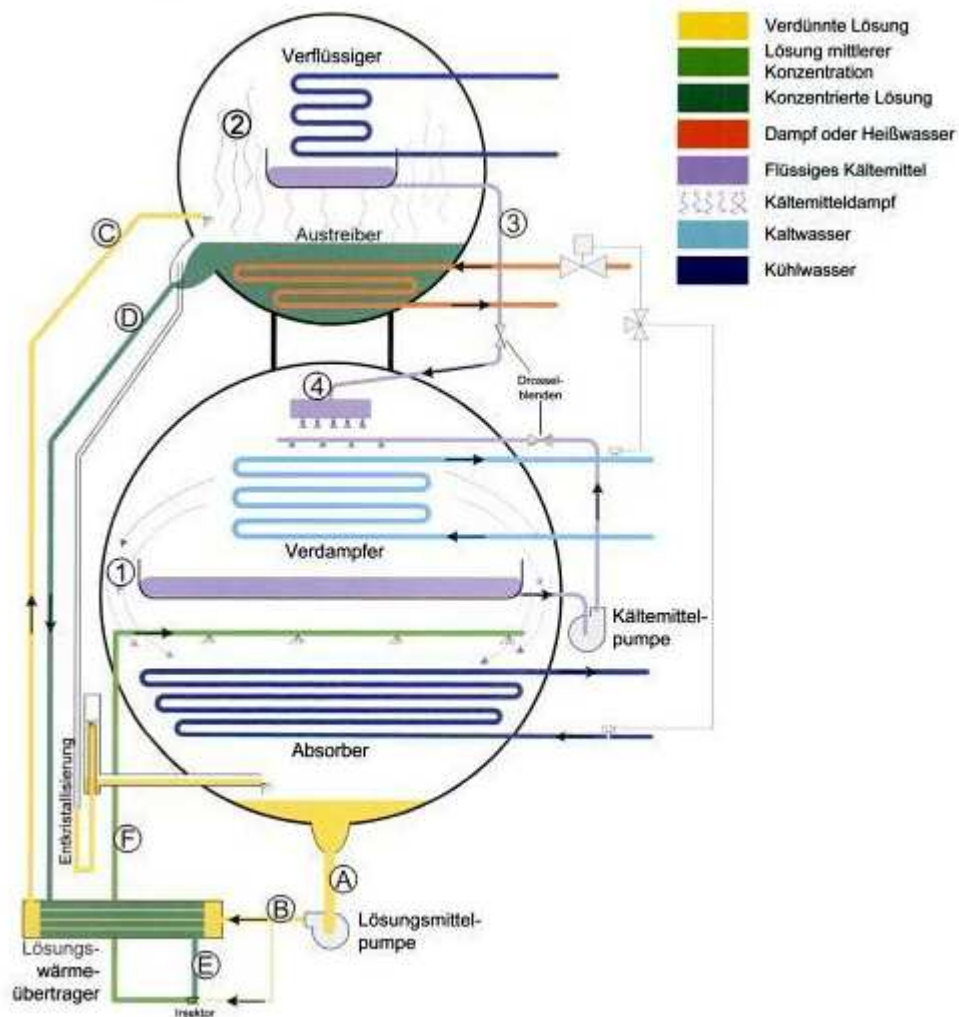
109

Der Lösungsmittel-Kreisprozess wird in zwei Teilprozesse unterteilt. Auf dem Weg vom Absorber zum Austreiber, welche durch die Zustandspunkte A, B und C dargestellt werden, weist er eine hohe Kältemittelkonzentration auf, wodurch das Lösungsmittel in verdünnter Form vorliegt.

⁵⁶ vgl. F. Schaal: Membranabsorber für die Absorptionskältetechnik – Berlin: Logos Verlag, 2009: Seite 5

⁵⁷ vgl. E. Bollin: Automation regenerativer Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden 1.Auflage – Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH, 2009: Seite 73

Auf umgekehrten Weg, Zustandspunkte D, E und F liegt eine geringere Kältemittelkonzentration im Lösungsmittel vor, so dass von einer konzentrierten Lösung gesprochen werden kann. Das Kältemittel wird nach Austreibung im Zustandspunkt 2 durch Umgebungswärme verflüssigt, bevor es im Verdampfer durch Wärmezufuhr auf niedrigem Temperaturniveau die Nutzkälte zur Verfügung stellt.⁵⁸



⁵⁸ vgl. E. Bollin: Automation regenerativer Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden 1.Auflage – Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH, 2009: Seite 73

Wie beschrieben erfolgt die Bereitstellung der Nutzkälte über den Verdampfer, in welchen das Kältemittel (Wasser oder Ammoniak) über den Rohren des Verdampfers versprüht wird und verdampft. Die dafür erforderliche Verdampfungswärme wird dem, durch die Verdampferrohre, strömenden Kaltwasser entzogen. Der Kältemittel-Dampf strömt in den Absorber, in welchem wiederum ein Lösungsmittel (Lithiumbromid oder Wasser) versprüht wird und den darin enthaltenen Wasserdampf aufnimmt. Das eingesetzte Lösungsmittel wird dadurch verdünnt und gibt die dabei anfallende Lösungswärme an das durch Absorberrohre strömende Kühlwasser ab. Das verdünnte Lösungsmittel gelangt über die Lösungsmittelpumpe in den Austreiber, in dem Heizwasserrohre durch Wärmezufuhr aus der Lösung Kältemittel ausdampfen. Das wieder konzentrierte Lösungsmittel fließt zum Absorber zurück. Eine wesentliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit lässt sich durch Anordnung eines zusätzlichen Wärmeübertragers zwischen der verdünnten kalten und der konzentrierten warmen Lösung durch Rückgewinnung von Heizenergie erzielen. Über dem Austreiber ist der Verflüssiger, durch welchen ebenfalls Kühlwasser strömt, angeordnet. Das aus dem Austreiber kommende Kältemittel- Wasser- Dampfgemisch kondensiert an den Verflüssigerrohren, wodurch sich ein Druck von etwa 20 kPa einstellt. Das flüssige Kältemittel strömt dann zurück zum Verdampfer, womit der Kreislauf wieder geschlossen ist.⁵⁹

Verglichen mit der Kälteleistung von Kompressionskältemaschinen resultieren höhere Investitionskosten bei der Absorptionskältetechnik, bei welcher man allerdings nicht von Leistungszahlen spricht, sondern von Effektivität. Die aus dem Kühlraum entzogene Nutzwärme Q_0 wird dem aus dem Austreiber aufgenommenen Heizstrom Q_H , ins Verhältnis gestellt. Bei Betrachtung der höheren Betriebskosten, verursacht durch ein hohes Strompreisniveau und weiter anfallenden Wartungskosten bei Kompressionskältemaschinen, ist der Betrieb von Absorptionskältemaschinen in Verbindung mit KWK-Anlagen sowohl wirtschaftlich als auch technisch sinnvoll.

⁵⁹ vgl. E. Bollin: Automation regenerativer Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden 1.Auflage – Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH, 2009: Seite 74

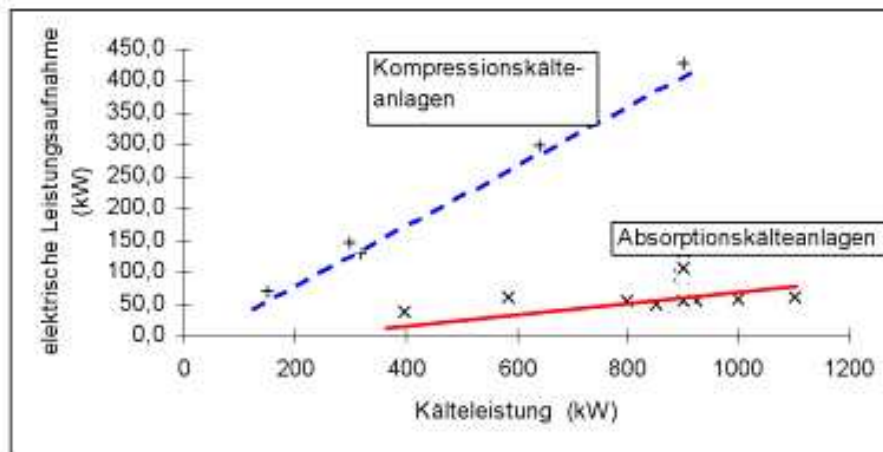


Abbildung 77: Gegenüberstellung Strombedarf von Absorptionskälteanlagen und Kompressionskälteanlagen

Quelle: Schaumann, Schmitz, Kraft-Wärme-Kopplung 2010

6.4.3 Adsorptionskältemaschinen

Als Alternative zur Absorptionskältemaschine kann die Adsorptionskältemaschine schon mit niedrigeren Vorlauftemperaturen aus dem Fernwärmenetz der Energie Graz betrieben werden. Eine Adsorptionskältemaschine ist dadurch charakterisiert, dass sie mit einem festen Sorptionsmittel wie Silicia Gel oder Zeolithe (hygroskopische Stoffe) arbeitet, woran sich ein gasförmiger Fluid leicht anlagern kann.

Unter Adsorption versteht man die selbstständig ablaufende Anreicherung von Gasen und Dämpfen auf der Oberfläche fester Stoffe.⁶⁰

⁶⁰ vgl. M. Felleisen: Prozessleittechnik für die Verfahrenstechnik – München: Oldenburg Industrieverlag GmbH, 2001: Seite 169

Durch die Zufuhr von Wärme wird im Austreiber aus dem Adsorbens das Wasser ausgetrieben, sprich desorbiert. Der dabei entstehende Wasserdampf wird im Kondensator kondensiert und von dort in den Verdampfer geleitet, wo er erneut verdampft. In dem nachgeschalteten gekühlten Adsorbens kondensiert der Wasserdampf wieder und wird absorbiert. Nach ausreichender Wasseranreicherung wird der Sammler umgeschaltet. Die Umschaltung erfolgt mittels außerhalb des Aggregates angeordneter, automatisch arbeitender Ventile. In dem nun als Austreiber arbeitenden Aggregatteil wird das Adsorbens durch Wärmezufuhr getrocknet, der Wasserdampf verdampft hierbei und wird in den Kondensator weitergeleitet, womit der Kreislauf von neuem beginnen kann.⁶²

⁶² vgl. G. Schaumann, K. W. Schmitz: Kraft-Wärme-Kopplung 4. Auflage – Heidelberg: Springer Verlag, 2010: Seite 209

7 Stadtteil Graz Reininghaus

7.1 Historische Entwicklung

Es gibt Straßenverläufe, die sich seit Jahrtausenden kaum verändert haben. Sei es aus topographischen oder auch wirtschaftlichen Gründen, manche Wege bleiben immer die gleichen. Dort, wo eine solche Straße eine andere kreuzte, entstand schon früh Bedeutungsvolles z.B. eine römische Schenke, ein Kloster oder ein Mauthaus. Auch die heutigen Reininghausgründe liegen an so einer uralten bedeuteten Kreuzung.

Bereits im Jahr 1669 begann der damalige Grundbesitzer im Mauthaus zur Verköstigung der Vorbeiziehenden Bier zu brauen. Im Laufe der Jahre wechselte die Mauthausbrauerei öfters die Besitzer bis 1853 der aus Westfalen stammende Johann Peter Reininghaus mit seiner aus Wien stammenden Frau Therese Mautner Markhof das Mauthaus und 45 ha dazugehöriges Land erwarben. Gemeinsam mit seinem Bruder Julius gründete er 1855 die Firma „Brüder Reininghaus“. Im Laufe der Jahre wurde das Gelände z.B. durch den Bau mehrere Kühlkeller mehrmals erweitert. Zu Beginn des zweiten Weltkriegs emigrierte die Familie Reininghaus. Die Brauerei wurde unter den Nationalsozialisten 1944 mit der Brauerei in Graz Puntigam zwangsfusioniert. Wegen der Nähe zum Bahnhof wurde die Brauerei in den Kriegsjahren mehrmals Opfer von Bombenangriffen und war bei Kriegsende schwer beschädigt. Nach der Rückkehr aus dem Exil 1947 wurde die Bierproduktion nach Graz Puntigam verlagert. Die Verwaltung und Mälzerei, sowie die Landwirtschaft blieben auf dem Gelände der Reininghausgründe zurück. Mit dem Tod von Peter Reininghaus sen. im Jahr 1973 und der Gründung der Steirerbrau im Jahr 1977 begann für das ehemalige Firmengelände endgültig ein nun bereits mehr als ein viertel Jahrhundert dauernder Dornröschenschlaf.⁶³

⁶³ vgl. Werkstatt 017: Was man über die Reininghausgründe wissen könnte;
<http://de.wikipedia.org/wiki/Graz-Reininghaus>, verfügbar am 10.07.2011



Abbildung 79: Luftansicht Gebiet Reininghausgründe

Quelle: www.de.wikipedia.org/wiki/Graz-Reininghaus, verfügbar am 10.07.2011

Heute umfaßt das Gebiet der Reininghausgründe ca. 54 ha an bebauter und freier Fläche. Die bestehende Infrastruktur bietet einige interessante Nutzungsmöglichkeiten. Die Tiefenkeller könnten in Zukunft als Kühlkeller zur Speicherung von Kälte verwendet werden. Im Konkreten wird im Rahmen dieser Arbeit die Realisierung der Umwandlung des Siloturms in einen Energieturm, durch den Einsatz von Photovoltaik-Technologie untersucht. Durch die Nutzung industrieller Abwärme aus dem Stahl- und Walzwerk Marienhütte wird ein weiterer wesentlicher Bestandteil bei der Versorgung der Reininghausgründe mit Wärme bzw. Kälte sein. Die Entwicklung eines urbanen, dichten und energieoptimierten Stadtteils Graz-Reininghaus, ist eine große Chance für eine zukunftsorientierte, nachhaltige Stadtentwicklung.

8 Resümee

Um einen notwendigen Rückgang des Energieverbrauches erwirken zu können, bedarf es umfangreicher Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz. Bereits auf politischer Ebene getroffene Vereinbarungen und Verpflichtungen zur Umgestaltung des Energiesystems und der Energienutzung, müssen mit viel mehr Nachdruck verfolgt werden. Gleichzeitig müssen weiter langfristige Zielsetzungen zur Reduktion von Treibhausgasen sowie in den Bereichen erneuerbare Energien und Energieeffizienz vereinbart werden. Bedingt durch steigende Energiepreise und Rohstoffverteuerungen befassen sich auch Unternehmen und die Industrie zunehmend mit Energiekosten. Durch Schaffen von Anreizen kann dieser beginnende Umdenkprozess hin zur Investition in neue Technologien unterstützt und weiter vorangetrieben werden. Durch innovative Energie- und Umwelttechnologien können auch wichtige Wirtschafts- und Arbeitsplatzimpulse gesetzt werden. Investitionen z.B. in Gebäudesanierungen oder Heizungserneuerungen schaffen ungleich mehr Arbeitsplätze als dieselbe Investition in den Bezug von importierten fossilen Energieträgern. Maßnahmen für mehr Energieeffizienz und Klimaschutz sind nicht nur ein Thema der Umwelt sondern werden die Zukunftsorientierung unserer Wirtschaft und auch kommunalen Dienstleistungen im Wesentlichen beeinflussen. Obgleich das Problem des Klimawandels globaler Natur ist, kann den Entwicklungen mittels durchdachter energierelevanter Entscheidungen vor Ort sehr wohl entgegengewirkt werden. Die Forcierung erneuerbarer Energieträger, das festlegen von Standards bei der Gebäudeerrichtung und Sanierung sowie auch drastische Maßnahmen wie z.B. die Einführung einer Fernwärmeanschlusspflicht in Fernwärmevorranggebieten, bei gleichzeitigem Verbot der Nutzung fester Brennstoffe und Heizöle, welche derzeit in Graz geprüft wird, sind dementsprechende erste Ansätze. Die verpflichtende Errichtung einer Sonnenkollektoranlage bei Neubauten und umfassenden Gebäudesanierungen sowohl bei Einfamilien- als auch bei mehrgeschossigen Wohnhäusern, wie auch bei gewerblich genutzten Gebäuden, unter Berücksichtigung des Grazer Solardachkatasters, stellt eine weitere Möglichkeit dar, die vorgenommenen und verpflichtenden Zielsetzungen einfacher zu erreichen. Im Rahmen der Entwicklung des neu zu gestalteten Stadtteils Graz-Reininghaus wurden Möglichkeiten aufgezeigt, wie durch den Einsatz neuer und innovativer Technologien, basierend auf erneuerbaren Energien, ein Beitrag zu einem zukünftigen leistungsfähigen aber umweltschonenden Energiesystem geleistet werden kann. Durch die Nutzung der bereits durch die Energie Graz geschaffenen Infrastruktur in Form des Fernwärmesystems im Bereich der Reininghausgründe und des Stahl- und Walzwerkes Marienhütte in Kombination mit dezentralen thermosolaren Anlagen und wärmebetriebenen Kälteanlagen für die Gebäudekühlung, sowie der Einbindung eines modernen Energiemanagements wird für diesen Stadtteil eine innovative, ökologische und zukunftsorientierte Wärme- und Kälteversorgung geschaffen. Durch die Realisierung des Energieturms und der damit verbundenen Erhöhung

des Anteils von Strom aus erneuerbarer Energien am Verbrauch der Grazer, ist eine CO₂ neutrale Stromversorgung der Bewohner des zukünftig neuen Stadtteils möglich. Durch Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur in Form von Stromtankstellen wird die gewonnen Sonnenenergie durch Elektrofahrzeuge und Elektrofahrräder genutzt und ein weiterer Beitrag zur Vermeidung von CO₂ Emissionen sowie zur Erhöhung der Energieeffizienz im Verkehr, bei gleichzeitiger Minderung von Feinstaubemissionen geleistet.

Abkürzungsverzeichnis

BIPV	Building Integrated Photovoltaic
CDM	Clean Development Mechanism
CPC	Compound Parabolic Concentrator
EH	Europäische Union – Emissionshandel
EU	Europäische Union
EPI	Energiepreisindex
HWKL	Heißwasserkreislauf
IG-L	Immissionsschutzgesetz Luft
JI-Projekte	Joint Implementation Projekte
KEK	Kommunales Energiekonzept
KLIEN-Fonds	Klima und Energiefonds
KW	Kraftwerk
KWK	Kraft Wärme Kopplung
MPP	Maximum Power Punkt
NAP	nationaler Allokationsplan
ÖMAG	Abwicklungsstelle für Ökostrom AG
PV	Photovoltaik
SSO	Süd-Süd-Ost
STC	Standard-Testbedingungen
THG	Treibhausgasemissionen
VPI	Verbraucherpreisindex
WE	Wohneinheit
WT	Wärmetauscher

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bruttoinlandsverbrauch nach Energieträgern in den Jahren 2008 und 2009 und deren Veränderung in Prozent.....	7
Tabelle 2: Energetischer Endverbrauch nach Energieträgern in den Jahren 2008 und 2009 und deren Veränderung in Prozent.....	8
Tabelle 3: Energetischer Endverbrauch nach Sektoren in den Jahren 2008 und 2009 und deren Veränderung in Prozent.....	10
Tabelle 4: Inländische Energieerzeugung in den Jahren 2008 und 2009 und deren Veränderung in Prozent	12
Tabelle 5: Energetischer Endverbrauch Erneuerbarer Energien in den Jahren 2008 und 2009 und deren Änderung in Prozent.....	14
Tabelle 6: Dezimalfaktoren.....	26
Tabelle 7: Maßeinheiten	26
Tabelle 8: Umrechnungsfaktoren	27
Tabelle 9: Entwicklung der anthropogenen Emissionen der Treibhausgase CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O sowie der F-Gase in Mio. t CO ₂ -Äquivalente in Österreich von 1990 – 2009 und deren prozentueller Anteil an den Gesamtemissionen 2009	32
Tabelle 10: Struktur der anthropogenen Emissionen der Treibhausgase CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O in 1990 und 2009 sowie deren Veränderung in Prozent	34
Tabelle 11: Emissionskoeffizienten zur Berechnung der Treibhausgasemissionsreduktion – Basisdaten 2010	52
Tabelle 12: Aufstellung der unterschiedlichen Simulationsergebnisse Westseite.....	67
Tabelle 13: Investitionskosten und Kostenoptimum je geernteter Kilowattstunde	67
Tabelle 14: Aufstellung der unterschiedlichen Simulationsergebnisse Südseite	79
Tabelle 15: Investitionskosten und Kostenoptimum je geernteter Kilowattstunde	79
Tabelle 16: Aufstellung des Simulationsergebnisses der Gesamtkonfiguration.....	82
Tabelle 17: Investitionskosten und Kostenoptimum Gesamt	82
Tabelle 18: Wärmeaufbringung Energie Graz 2009 und 2010 in GWh nach Erzeugern und deren prozentuelle Veränderung	89

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bruttoinlandsverbrauch nach Energieträgern 2009 in Prozent.....	8
Abbildung 2: Energetischer Endverbrauch nach Energieträgern 2009 in Prozent	9
Abbildung 3: Energetischer Endverbrauch nach Sektoren 2009 in Prozent	10
Abbildung 4: Energetischer Endverbrauch nach Verbrauchszwecken 2009 in PJ.....	11
Abbildung 5: Inländische Erzeugung Erneuerbare Energien 2009	13
Abbildung 6: Anteil Erneuerbarer Energien am Energetischen Endverbrauch 2009	14
Abbildung 7: Energetischer Endverbrauch Erneuerbarer Energien nach Sektoren 2009	15
Abbildung 8: Preisentwicklung Erdöl pro Barrel in Dollar in den Jahren 2004 – 2010	16
Abbildung 9: Entwicklung Energiepreisindex im Jahr 2010.....	17
Abbildung 10: Energiewandlungskette von der Primärenergie zur Nutzenergie	22
Abbildung 11: Energiequellen in ihren Erscheinungsformen und Wirkungen	23
Abbildung 12: Grundsätzliche Möglichkeiten zur Nutzung des regenerativen Energieangebots nach Kleeman und Meliß 1993.....	25
Abbildung 13: Verlauf der anthropogene Emissionen der Treibhausgase CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O sowie der F-Gase in Österreich von 1990 – 2009 in Mio. t CO ₂ -Äquivalente	33
Abbildung 14: Anteil der Treibhausgasemissionen an den Gesamtemissionen in Österreich 2009	35
Abbildung 15: Strahlungsenergie pro Flächeneinheit.....	39
Abbildung 16: Sonneneinstrahlung in Österreich	40
Abbildung 17: Anwendungsbeispiel zur Nutzung der Sonnen für Warmwasser und zu Heizzwecken	41
Abbildung 18: Aufbau eines Flächenkollektors und dessen Einzelkomponenten	43
Abbildung 19: Vakuumröhre mit CPC Spiegel und dessen Einzelkomponenten	44
Abbildung 20: Vakuumröhrenkollektor – Heat Pipe Prinzip und dessen Einzelkomponenten	45
Abbildung 21: Marktentwicklung der Solarthermie in Österreich von 1975 – 2010 dargestellt durch die jährlich installierte Kollektorleistung in MW _{th} und der kumulierten Kollektorleistung in MW _{th} nach Kollektortyp.....	46
Abbildung 22: Beispiel Grazer Solardachkataster mit Legende	47
Abbildung 23: Funktionsschema einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage	48
Abbildung 24: Beispiel einer monokristallinen Siliziumzelle	49
Abbildung 25: Beispiel für eine polykristalline Siliziumzelle mit typischer Kristallstruktur	50

Abbildung 26: Marktentwicklung der Photovoltaik in Österreich von 1992 – 2010 dargestellt durch die jährlich installierte Photovoltaik-Leistung in MWp und kumulierter Leistung in MWp	51
Abbildung 27: Siloturm Ansicht Südseite	54
Abbildung 28: Siloturm Ansicht Südseite	55
Abbildung 29: Photovoltaik Modul inkl. Abmessungen.....	56
Abbildung 30: Technische Daten der Photovoltaik Module.....	57
Abbildung 31: Elektrische Daten der Photovoltaik Module.....	57
Abbildung 32: Leistungskennlinie der Photovoltaik Module	58
Abbildung 33: Systemschema Westseite Variante 0° Ausstellung der PV- Module.....	60
Abbildung 34: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Westseite Variante 0° Ausstellung der PV- Module	61
Abbildung 35: Systemschema Westseite Variante 78° Ausstellung der PV- Module.....	62
Abbildung 36: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Westseite Variante 78° Ausstellung der PV- Module	62
Abbildung 37: Systemschema Westseite Variante 55° Ausstellung der PV- Module.....	63
Abbildung 38: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Westseite Variante 55° Ausstellung der PV- Module	63
Abbildung 39: Systemschema Westseite Variante 40° Ausstellung der PV- Module.....	64
Abbildung 40: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Westseite Variante 40° Ausstellung der PV- Module	64
Abbildung 41: Systemschema Westseite Variante 25° Ausstellung der PV- Module.....	65
Abbildung 42: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Westseite Variante 25° Ausstellung der PV- Module	65
Abbildung 43: Systemschema Westseite Variante 10° Ausstellung der PV- Module.....	66
Abbildung 44: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Westseite Variante 10° Ausstellung der PV- Module	66
Abbildung 45: Aufstellung Errichtungskosten der für unterschiedlichen Simulationsergebnisse in Euro.....	68
Abbildung 46: Aufstellung Ertrag pro Modul in kWh der unterschiedlichen Simulationsergebnisse.....	68
Abbildung 47: Aufstellung Kosten pro kWh der unterschiedlichen Simulationsergebnisse....	69
Abbildung 48: Systemschema Südseite Variante 0° Aus stellung der PV- Module	70
Abbildung 49: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Südseite Variante 0° Ausstellung der PV- Module	71

Abbildung 50: Systemschema Südseite Variante 70° Ausstellung der PV- Module	71
Abbildung 51: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Südseite Variante 70° Ausstellung der PV- Module	72
Abbildung 52: Systemschema Südseite Variante 55° Ausstellung der PV- Module	73
Abbildung 53: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Südseite Variante 55° Ausstellung der PV- Module	74
Abbildung 54: Systemschema Südseite Variante 40° Ausstellung der PV- Module	74
Abbildung 55: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Südseite Variante 40° Ausstellung der PV- Module	75
Abbildung 56: Systemschema Südseite Variante 25° Ausstellung der PV- Module	76
Abbildung 57: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Südseite Variante 25° Ausstellung der PV- Module	77
Abbildung 58: Systemschema Südseite Variante 10° Ausstellung der PV- Module	77
Abbildung 59: Ertragsergebnis in kWh pro Monat Südseite Variante 10° Ausstellung der PV- Module	78
Abbildung 60: Aufstellung Errichtungskosten der für unterschiedlichen Simulationsergebnisse in Euro	80
Abbildung 61: Aufstellung Ertrag pro Modul in kWh der unterschiedlichen Simulationsergeb- nisse	80
Abbildung 62: Aufstellung Kosten pro kWh der unterschiedlichen Simulationsergebnisse	81
Abbildung 63: Aufstellung Errichtungskosten in Euro der optimierten Gesamtkonfiguration .	83
Abbildung 64: Aufstellung Ertrag pro Modul in kWh der optimierten Gesamtkonfiguration	83
Abbildung 65: Aufstellung Kosten pro kWh der optimierten Gesamtkonfiguration	84
Abbildung 66: Prinzipschema Wärmeaufbringung Energie Graz	88
Abbildung 67: Wärmeaufbringung Energie Graz 2010 in GWh nach Erzeugern	89
Abbildung 68: Gegenüberstellung der Betriebsweisen GDK Mellach mit und ohne Fernwär- meauskopplung	94
Abbildung 69: Fernwärme - Übersichtsplan Reininghausgründe	97
Abbildung 70: Heizkreislauf Abwärmenutzung Stahl- und Walzwerk Marienhütte	99
Abbildung 71: Temperatur und Leistungsschwankungen von zwei Chargenzyklen	100
Abbildung 72: Funktionsweise Pufferweiche	101
Abbildung 73: Schemadarstellung direkte Speichereinbindung auf Sekundärseite des Wär- metauschers	102
Abbildung 74: Gegenüberstellung Fernwärmeverlauftemperaturen mit und ohne Speicher	103

Abbildung 75: Funktionsschema einer Absorptionskälteanlage	106
Abbildung 76: Hauptkomponenten einer Absorptionskälteanlage.....	107
Abbildung 77: Gegenüberstellung Strombedarf von Absorptionskälteanlagen und Kompressionskälteanlagen	109
Abbildung 78: Funktionsschema einer Adsorptionskälteanlage.....	110
Abbildung 79: Luftansicht Gebiet Reininghausgründe	113

Literaturverzeichnis

Bollin 2009

E. Bollin: Automation regenerativer Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden 1.Auflage
Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH, 2009

Böge/Eichler 2005

Alfred Böge, Jürgen Eichler: Physik – Grundlagen, Versuche, Aufgaben, Lösungen
10.Auflage - Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2005

Eicker 2001

Eicker, Ursula: Solare Technologien für Gebäude – Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden:
B.G.Teubner, 2001

Falanga 2005

Falanga, Gianluca : Die Humboldt Universität – 1.Auflage – Berlin: Berlin Story Verlag, 2005

Felleisen 2001

M. Felleisen: Prozeßleittechnik für die Verfahrenstechnik – München: Oldenburg Industrie-
verlag GmbH, 2001

Geitmann 2010

Geitmann, Sven: Erneuerbare Energien – Berlin: Hydrogeit Verlag, 2010

Huch/Behme/Ohlendorf

Huch, Behme, Ohlendorf: Rechnungswesen orientiertes Controlling 4.Auflage – Heidelberg:
Physica Verlag, 2004

Joos 2004

Joos L.: Energieeinsparung in Gebäuden – Essen: Vulkan-Verlag, 2004

Kaltschmitt/Streicher/Wiese 2006

Kaltschmitt, Martin : Streicher, Wolfgang: Wiese, Andreas: Erneuerbare Energien –
4.Auflage – Berlin Heidelberg : Springer, 2006

Kaltschmitt/Hartmann/Hofbauer 2009

Kaltschmitt, Martin : Hartmann, Hans: Hofbauer, Hermann: Energie aus Biomasse – 2.Auflage – Berlin Heidelberg : Springer, 2009

Konstantin 2009

Panos Konstantin: Praxisbuch Energiewirtschaft, Energieumwandlung-, transport und – beschaffung im liberalisierten Markt - Heidelberg: Springer Verlag, 2.Auflage 2009

Molitor 2009

Molitor, Patrick: Der Photovoltaik-Anlagen Projektfaden – Hamburg: Diplomica Verlag GmbH, 2009

Neubarth/Kaltschmitt 2000

Neubarth, Jürgen : Kaltschmitt, Martin: Erneuerbare Energien in Österreich – Wien : Springer, 2000

Rexroth 2002

Rexroth Susanne: Gestalten mit Solarzellen - Heidelberg: Müller Verlag, 2002

Schaumann/Schmitz 2010

G. Schaumann, K. W. Schmitz: Kraft-Wärme-Kopplung 4. Auflage – Heidelberg: Springer Verlag, 2010

Schaal 2009

F. Schaal: Membranabsorber für die Absorptionskältetechnik – Berlin: Logos Verlag, 2009

Schufft 2007

Wolfgang Schufft, Taschenbuch der elektronischen Energietechnik – München: Hanser Verlag, 2007

Wesselak/Schabbach 2009

Viktor Wesselak; Thomas Schabbach: Regenerative Energietechnik – Berlin Heidelberg: Springer, 2009

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich; Ökostromverordnung 2011; 28.01.2011

Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend: Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung der Kyoto Ziele 2008-2012

Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Energiestatus Österreich 2011

Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend: Energie Strategie Österreich 2010, Maßnahmenvorschläge

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Innovative Energietechnologien in Österreich, Marktentwicklung 2010

Österreichische Energieagentur, Entwicklung Energiepreise

Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz

Simulationen und Ertragsberechnungen - Software PV*Sol der Firma Dr. Valentin Energie Software GmbH

Solar Graz, Die Kraft der Sonne

Solarwatt AG – Datenblatt

Umweltbundesamt: Klimaschutzbericht 2011

www.jikobmu.de; verfügbar am 11.07.2011

www.gis.graz.at

www.de.wikipedia.org/wiki/Maximum_Power_Point, verfügbar am 08.07.2011

www.de.wikipedia.org/wiki/Watt_Peak, verfügbar am 16.05.2011

www.de.wikipedia.org/wiki/Graz-Reininghaus, verfügbar am 10.07.2011

www.de.wikipedia.org/wiki/Sonnenenergie, verfügbar am 28.04.2011

www.onlineenzyklopaedie.de/s/so/solarkonstante.html, verfügbar am 28.04.2011

www.pvaustria.at/content/page.asp?id=259, verfügbar am 17.05.2011

www.solaranlagen-portal.com/solarmodule/systeme/monokristallin, verfügbar am 14.04.2011

www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/treibhausgase/, verfügbar am 12.07.2011

www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/luft/luftschadstoffe/staub/pm10/ , verfügbar am 25.05.2011

www.unendlich-viel-energie.de

www.verwaltung.steiermark.at/cms/beitrag/10098174/2627997/, verfügbar am 17.05.2011

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Ort, Datum, Unterschrift